

Г.С.Гендин

Высококачественные ламповые усилители звуковой частоты

Издательство «Радио и связь»



Основана в 1947 году
Выпуск 1226

Г.С.Гендин

Высококачественные ламповые усилители звуковой частоты



Москва
«Радио и связь»
1997

УДК 621.375.132
ББК 32.846.6
Г34

Гендин Г.С.

Г34 Высококачественные ламповые усилители звуковой частоты. — М.: Радио и связь, 1997. — 128 с.: ил. — (Массовая радиобиблиотека; Вып. 1226).
ISBN 5-256-01325-4

Книга представляет собой попытку возродить интерес радиолюбителей к ламповым усилителям звуковой частоты на новом качественном уровне. Сегодня на Западе и особенно в США интерес к таким УЗЧ необычайно возрос, о чем свидетельствуют результаты новейших разработок в этой области.

В книге содержатся практические описания нескольких конструкций ламповых УЗЧ разной степени сложности, даны практические советы как схемного, так и конструктивного характера.

Для подготовленных радиолюбителей.

ББК 32.846.6

Научно-популярное издание

Массовая радиобиблиотека. Вып. 1226

ГЕНДИН ГЕННАДИЙ СЕМЕНОВИЧ

ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЕ ЛАМПОВЫЕ УСИЛИТЕЛИ ЗВУКОВОЙ ЧАСТОТЫ

Редактор И.Н. Суслова
Художественное, техническое редактирование и компьютерная верстка Л.А. Горшковой
Корректор Н.Л. Жукова

ИБ N 2746

ЛР № 010164 от 29.01.97.
Подписано в печать с оригинал-макета 12.05.97. Формат 60x88/16. Бумага книжно-журн. Гарнитура Таймс. Печать офсетная. Усл. печ. л. 7,84. Усл. кр.-отт. 8,33. Уч.-изд. л. 9,26. Тираж 4000 экз. Изд. № 23989. Зак. № 45. С-025.

Издательство «Радио и связь», 101000, Москва, Почтамт, а/я 693
Типография издательства «Радио и связь», 101000, Москва, Почтамт, а/я 693

ISBN 5-256-01325-4

КОНЦЕПЦИЯ КОНСТРУИРОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ЛАМПОВЫХ УЗЧ

Новая концепция, благодаря которой стало возможным появление на европейском и американском рынках современных ламповых УЗЧ, ушедших, как еще недавно казалось, навсегда в прошлое, сама по себе парадоксальна. Действительно, все то, что прежде считалось второстепенным, несущественным, а то и вовсе не заслуживающим внимания, теперь стало не просто первостепенным, но по существу определяющим; и наоборот, то, что прежде ставилось во главу угла при создании радиоаппаратуры (особенно бытовой), содержащей УЗЧ, теперь вообще отметается как третьестепенное, если не сказать вздорное.

Для того чтобы убедиться, что это действительно так, давайте освежим в памяти требования, предъявлявшиеся в свое время к низкочастотной части любых радиотехнических устройств. Первым, самым главным из них, была экономичность. От усилителя требовалось минимально возможное потребление мощности от источника питания. В жертву этому приносилось многое: для оконечного каскада, например, режим класса А расценивался чуть ли не как преступный, а классу AB_2 отдавалось предпочтение перед классом AB_1 всюду, где это позволял клирфактор.

На втором месте стояли требования к массе и габаритным размерам основных узлов усилителя, в первую очередь - выходных и переходных трансформаторов. За ними шли требования к максимальной технологичности производства, особенно намоточных узлов, и простоте монтажа. Число ламп и деталей в УЗЧ в идеале должно было стремиться к нулю, а о том, чтобы использовать детали с 5%-ным допуском, не могло быть и речи.

Сегодня единственным критерием жизнеспособности современного лампового усилителя является его качество. Все остальное без сожаления приносится в угоду этому показателю.

Такие понятия, как экономичность, масса, габаритные размеры, стоимость, сложность производства, признаются несущественными. Никакие технологические трудности не считаются трудностями. Повторяемость двух сошедших друг за другом с конвейера аппаратов объявляется необязательной, да и сам процесс конвейерной сборки ставится под сомнение. Об использовании деталей с 5%-ным допуском, как и прежде, не может быть и речи, но уже по другой причине: большинство резисторов должно быть с допуском не более 1%.

В выходном трансформаторе разброс числа витков первичных обмоток ограничивается половиной или даже четвертью... витка, а о

разбросе значений их индуктивностей запрещается даже говорить. Что касается размеров выходных трансформаторов, то приветствуется формула: "чем больше - тем лучше".

Названия всех классов усиления, кроме А, вычеркиваются из лексикона конструкторов, даже если речь идет об оконечных каскадах мощностью 50 или 100 Вт. Использование в усилителях полупроводниковых приборов объявляется нежелательным, при этом даже в выпрямителях лампам-кенотронам отдается предпочтение перед кремниевыми диодами. Последние в виде исключения допускается использовать в выпрямителях... цепей накала ламп.

Каждый вновь изготовленный экземпляр усилителя подвергается индивидуальной регулировке и настройке наподобие хорошего концертного рояля, при этом индивидуальный поштучный подбор ламп считается само собой разумеющимся. При выборе типов ламп для оконечных каскадов считается нормальным остановиться на таких "доисторических" триодах прямого накала, как 2А3, если их параметры удовлетворяют требованиям конструктора.

Из сказанного ясно, что говорить о таких понятиях, как экономичность или себестоимость подобных УЗЧ не имеет смысла. Действительно, даже относительно "средний" по параметрам 20-ваттный УЗЧ может потреблять от сети 120...150 Вт и стоить без акустической системы 1500...2000 долл.

Так на кого же рассчитана такая аппаратура и зачем она нужна? В последние два-три года на западных и американском рынках бытовой радиоаппаратуры спрос на современные ламповые УЗЧ (как самостоятельные изделия), несмотря на их баснословную стоимость, не удовлетворяется. Объясняется это не только модой, хотя и она играет немаловажную роль в создании "лампового бума", но и необычайно высокими качественными показателями современных ламповых усилителей (хотя и достигнутыми дорогой ценой), превосходящими при субъективных сравнениях транзисторную аппаратуру аналогичного класса.

Однако, принимая во внимание, "...что Запад нам не указ...", вернемся к российской действительности и посмотрим, какой смысл нам возвращаться к проблемам давно похороненным и хорошо забытым. Здесь целесообразно назвать несколько причин. Первая из них - необходимость привлечь внимание наших радиолюбителей к принципиально новым возможностям, открывающимся при использовании ламповых схем; вторая - это увлекательнейшие возможности для творчества и поиска новых, оригинальных схемных и конструкторских решений. И наконец, третье, едва ли не решающее соображение - возможность самостоятельно создать супермодный современный и действительно великолепный усилительно-акустический комплекс, который станет предметом вашей гордости и черной зависти друзей-меломанов.

На этом закончим общие рассуждения и перейдем к описанию нескольких конкретных любительских конструкций ламповых УЗЧ и акустических систем к ним.

ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА

Радиолампы. Разделим радиолампы на три группы:

1) для оконечных и драйверных (предоконечных) каскадов;

2) для каскадов предварительного усиления;

3) для выпрямителей.

К первой группе относятся триоды, имеющие достаточно протяженную линейную часть анодно-сеточной характеристики при работе в классе А, а также мощные лучевые тетроды или (реже) пентоды, обеспечивающие получение нелинейных искажений не свыше 0,5% в ультралинейной схеме включения (разумеется, также в классе А).

Нет смысла перечислять все типы ламп, используемые западными фирмами в оконечных каскадах, поскольку возможность приобретения их маловероятна. Тем не менее, параметры некоторых из них приведены в табл. 1.

Рассмотрим те типы ламп отечественного производства, которые реально приобрести.

Для большинства упоминаемых ламп приведены все необходимые параметры и графики типовых анодно-сеточных характеристик, необходимые радиолюбителю, для части ламп ограничимся таблицей (табл. 1) их основных параметров. Цоколевки и габаритные размеры ламп показаны на рис. 1 и 2.

Итак, лампы для оконечных каскадов:

а) 2С3 (американский аналог 2А3) - мощный триод прямого накала (2 В), обеспечивающий в двухтактном трансформаторном каскаде в классе А полезную мощность не менее 20 Вт;

б) 6С4С - почти полный аналог лампы 2С3, но с прямым накалом (6 В);

в) 6С6С (американский аналог 6В4G) - полный аналог лампы 2А3, но с косвенным накалом (6 В).

Эти три типа триодов используют в оконечных каскадах почти все зарубежные фирмы, выпускающие ламповые УЗЧ. Для отечественных радиолюбителей, учитывая трудности в приобретении этих ламп, можно рекомендовать несколько современных триодов. Это триоды 6С19П и 6С56П. Они предназначены в основном для стабилизаторов напряжения в качестве управляемых ламп, в большинстве случаев вполне пригодны для оконечных каскадов УЗЧ, хотя и отдают меньшую полезную мощность. При этом у ламп этой группы есть и немаловажное преимущество: они работают при более низком анодном напряжении, что существенно упрощает конструкцию выпрямителя. При желании же получить большую выходную мощность вполне допустимо в каждом плече пушпулла использовать по две параллельно включенные лампы.

К этой же группе оконечных триодов можно отнести и отечественный двойной триод типа 6Н13С (его полный американский аналог - 6AS7-GT), каждый триод которого допускает мощность рассеяния на аноде до 13 Вт. Он также работает при низком анодном напряжении (90 В). Если оба триода одного баллона включить параллельно, то, используя в оконечном каскаде две такие лампы (два баллона) можно получить полезную выходную мощность свыше 20 Вт.

Таблица 1. *Основные параметры ламп, используемых в усилителях*

Тип лампы		Uнак, В	Iнак, А	Uан раб., В	Iан раб., мА
отечественная	европейский (Е) или американский (А) аналог				
2С3	2А3 (VT95) (А)	2,5	2,5	250	60
6С4С	AD1 (Е)	6,3	1,0	250	62
6С6	6В4G (А)	6,3	1,0	250	60
6С19П	—	6,3	1,0	110	95
6Н6П	—	6,3	0,75	120	30
6Н13С	6AS7G (А)	6,3	2,5	90	80
6П14П	EL84 (Е)	6,3	0,76	250	48
6П27С	EL34 (Е)	6,3	1,5	250	100
6П41С	—	6,3	1,1	190	66
—	EL12 (Е)	6,3	1,2	250	72
6С3П	—	6,3	0,3	150	16
6С4П	—	6,3	0,3	150	16
6Н8С	6SN7 (А)	6,3	0,6	250	9,0
6Н9С	6SL7 (А)	6,3	0,3	250	2,3
6Н1П	ЕСС87 (Е)	6,3	0,6	250	7,5
6Н2П	ЕСС41 (Е)	6,3	0,345	250	2.3
6Е3П	ЕМ84 (Е)	6,3	0,27	250	0,06...0,4
5Ц3С	5U4G (А)	5,0	3,0	450	225
5Ц8С	—	5,0	5,0	500	400

Примечание. Лампы 2С3, 6С4С и 5Ц3С имеют прямой накал, остальные - косвенный.

Более скромным представляется выбор мощных лучевых тетродов и оконечных пентодов для выходного двухтактного каскада по ультралинейной схеме включения (в обычной схеме включения они практически непригодны для современных УЗЧ). Здесь самыми лучшими можно считать немецкие лампы EL-34 и EL-12. Полным отечественным аналогом первой из них является лампа 6П27С, аналога второй нет ни среди отечественных, ни среди американских ламп.

Наконец, допустимо использовать специально предназначенную для устройств кадровой развертки цветных телевизоров лампу 6П41С. Что касается выходных "строчных" ламп всех типов телевизоров, то они из-за крайне низкого КПД малопригодны для работы в классе А. Справедливости ради следует сказать, что разработанный в свое время автором этой книги стереофонический УЗЧ, предназначавшийся для телерадиокомбайна "Темп-5", получившего в 1958 г. на Всемирной выставке в Брюсселе "Гран-при" и Большую золотую медаль, имел в оконечном каскаде... именно "строчные" лампы типа EL-36 (6П31С).

Если радиолюбителя устроит неискаженная выходная мощность 10 Вт (что, на наш взгляд, более чем достаточно для любой жилой

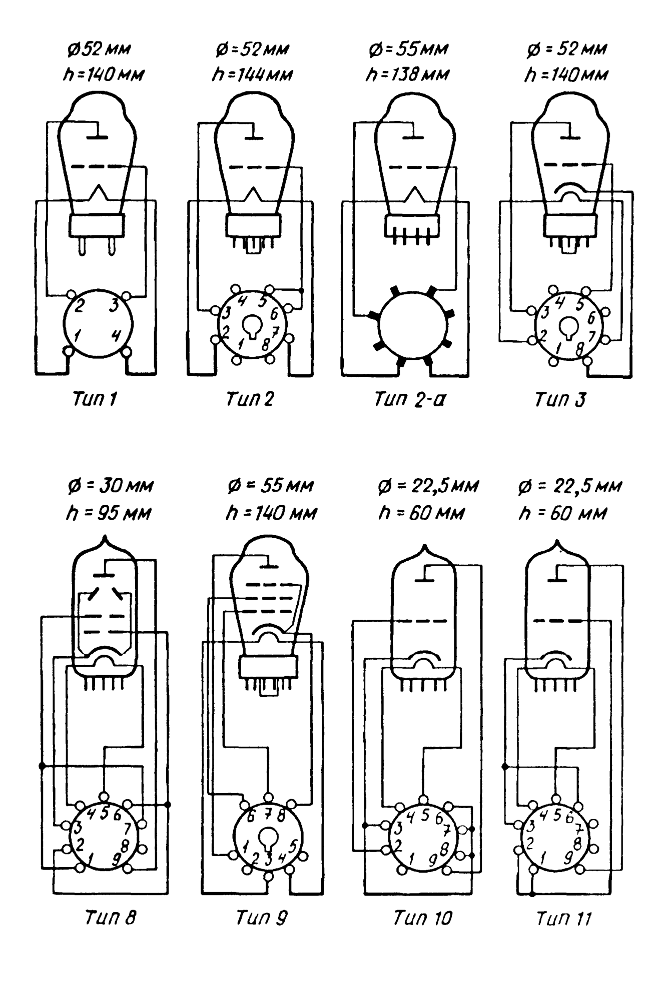
Ug2 раб., В	Ig2 раб., мА	Ран доп., Вт	Pg2 доп., Вт	Ug1, В	Крутизна характеристики, мА/В	Внутреннее сопротивление, Ом	Номер цоколевки на рис.1
—	—	15	—	—45	5,25	800	1
—	—	15	—	—45	5,4	840	2 и 2а
—	—	15	—	—45	5,3	800	3
—	—	11	—	—7,0	7,5	420	4
—	—	4,8	—	—2,0	11,0	1800	13 (h_2)
—	--	13+13	—	—30	5,5	460	5
250	5,0	14	2,2	—8,0	11,0	30кОм	6
265	15	27,5	8,0	—13,5	10,0	15кОм	7
190	2,7	14	3,0	—21	8,4	12кОм	8
250	9,0	18	4,0	—7,0	15,0	30кОм	9
—	—	3,0	—	—1,6	19,5	2600	10
—	—	3,0	—	—1,6	19,5	2600	11
—	—	2,75	—	—8,0	2,6	7900	12
—	—	1,1	—	—2,0	1,6	44кОм	12
—	—	2,2	—	—4,5	4,3	8000	13 (h_1)
—	—	1,0	—	—1,5	2,1	42кОм	13 (h_1)
—	—	—	—	0-22	—	—	14
—	—	—	—	—	—	200	15
—	—	—	—	—	—	150	16

квартиры), лучше всего применить самый распространенный в мировой и отечественной практике оконечный пентод типа EL-84, полным аналогом которого (не считая надежности и долговечности) является отечественная лампа 6П14П.

Значительно проще обстоит дело со второй группой ламп для фазоинверсных, предоконечных каскадов и каскадов предварительного усиления. Абсолютное большинство западных производителей современных ламповых УЗЧ ограничивают их номенклатуру четырьмя типами. Два из них являются представителями более "древних" серий. Это американские 8-штырьковые октальные двойные триоды типов 6SN7-GT и 6SL7-GT, аналогами которых служат отечественные лампы 6Н8С и 6Н9С. Два другие представляют западноевропейские пальчиковые двойные триоды типов ECC-87 и ECC-83, к которым по параметрам близки отечественные лампы 6Н1П и 6Н2П.

Кроме того, специально для входных (первых) каскадов предварительного усиления можно рекомендовать не применявшиеся прежде для этой цели высокочастотные одиночные триоды типов 6С3П и 6С4П, предназначенные для усиления и генерирования сигналов СВЧ. Вызвано это тем, что указанные триоды характеризу-

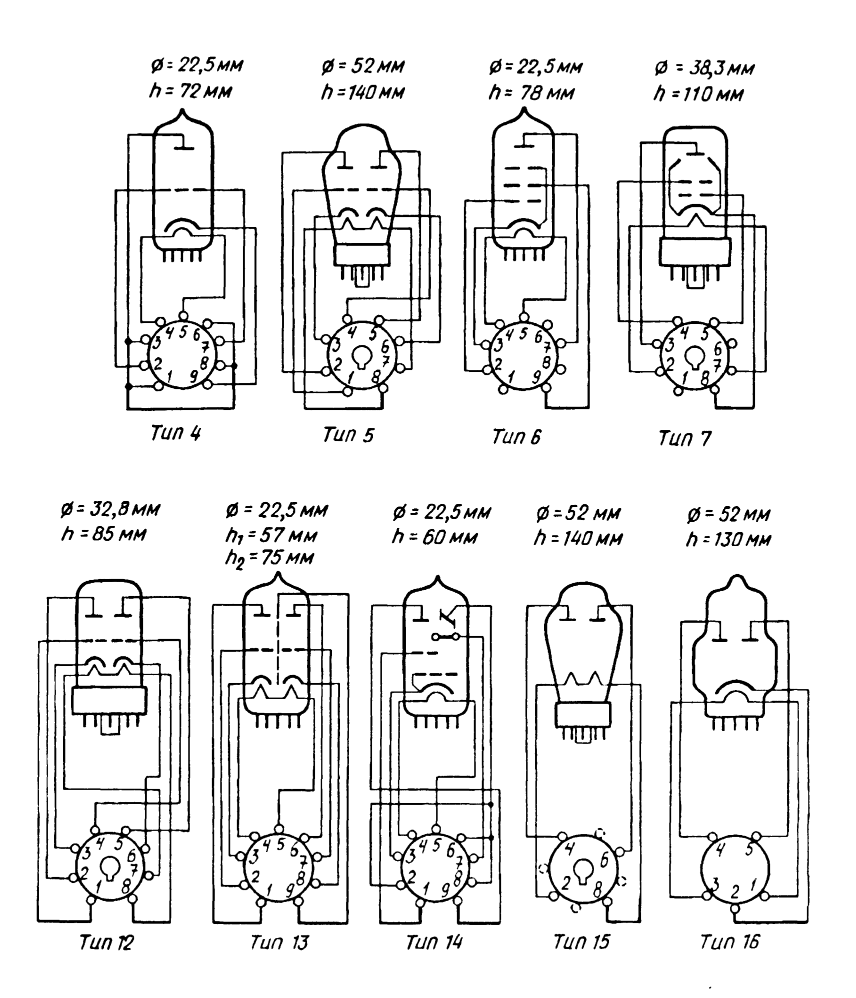
Рис. 1. Цоколевки и габаритные размеры ламп, используемых в УЗЧ



ются низким уровнем собственных шумов (эквивалентное сопротивление внутренних шумов не более 170 Ом) и ничтожными токами утечки в цепи накал-катод.

Это обстоятельство чрезвычайно важно для достижения общего уровня собственного фона и шумов УЗЧ на уровне -70...-80 дБ. Более подробно о физике возникновения фона в первом каскаде усилителя будет рассказано в разделе, посвященном конструированию конкретных УЗЧ.

И наконец, третья группа - лампы для выпрямителей. На первый взгляд может показаться абсурдным применение кенотронов в наши дни, когда имеется огромное количество кремниевых диодов и диодных сборок не только полностью заменяющих кенотроны, но и



обладающих несравненно лучшими показателями по КПД и экономичности.

Тем не менее ни одна западная фирма не использует в источниках питания для ламповых усилителей полупроводники, отдавая предпочтение лампам. Это объясняется необходимостью предотвратить появление на анодах ламп (в первую очередь - мощных выходных) высокого напряжения до тех пор, пока их катоды не прогреются до температуры, обеспечивающей возникновение довольно плотного электронного облака вокруг катода. Пренебрежение этим требованием очень скоро приводит к "отравлению" катодов мощных ламп, к их преждевременному старению и выходу из строя.

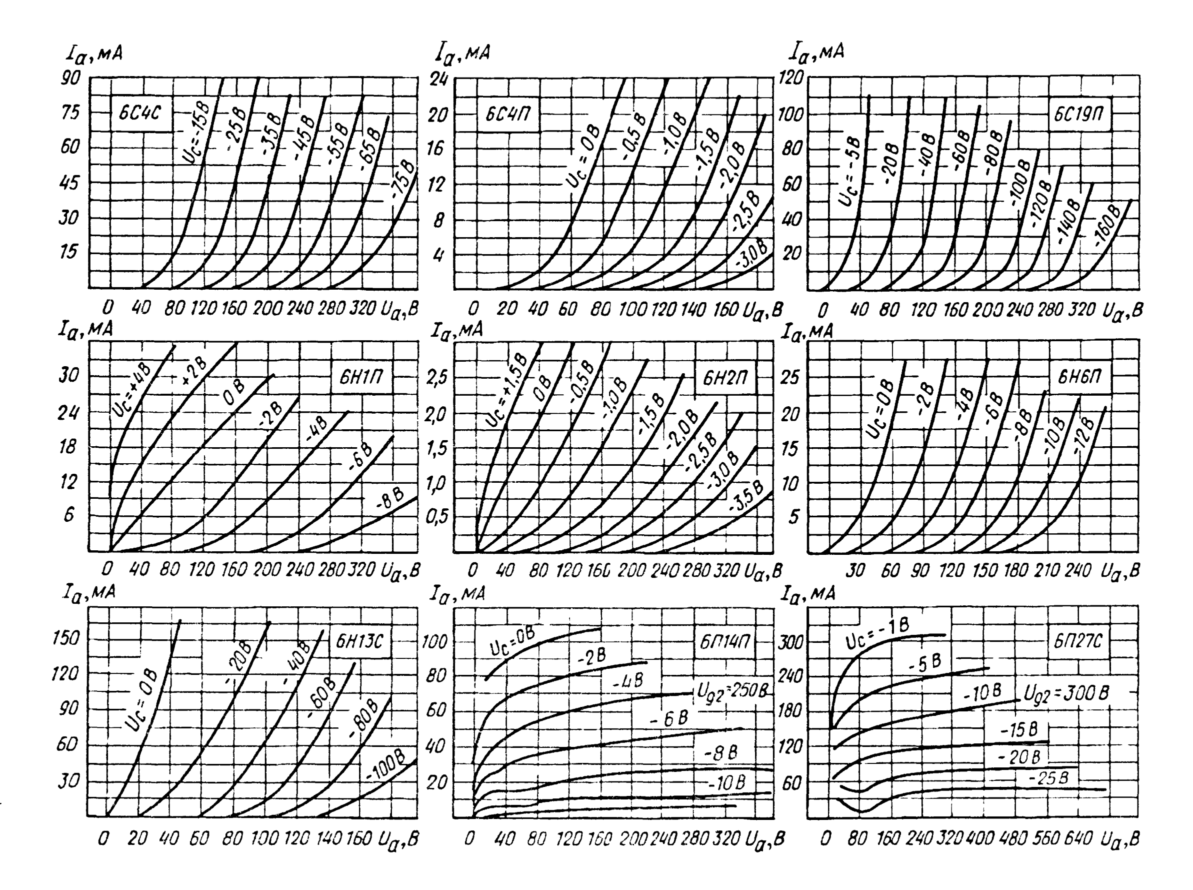


Рис. 2. Анодно-сеточные характеристики некоторых ламп

Ассортимент используемых кенотронов сравнительно невелик и включает следующие типы: 5Ц3С, 5Ц8С, 5Ц9С. Из американских ламп наиболее употребительны 5U4G, 5Y3G, 5V4G, из западноевропейских - EZ-12.

Для ламп всех каскадов (а особенно оконечных) нужно применять только керамические, а не пластмассовые панельки. Панельки ламп предварительных каскадов усиления должны иметь выступающий фланец, на который снаружи надевается металлический цилиндрический экран, защищающий лампу от внешних наводок. Для входных каскадов желательно, чтобы этот экран был не алюминиевым, а железным (его можно сделать из листового кровельного оцинкованного железа).

Трансформаторы и дроссели. Следующими по степени важности после ламп можно считать все виды намоточных деталей, в число которых входят выходные, переходные и силовые трансформаторы, а также дроссели фильтров питания. Остановимся на принципах их изготовления, общих для всех разновидностей, и начнем с материалов для магнитопроводов.

Для выходных трансформаторов низкочастотных каналов (если усилитель двухканальный) лучше всего применять ленточные, О-образные магнитопроводы, что позволяет все обмотки выполнять полностью симметричными (например, две половинки первичной обмотки двухтактного пушпулльного оконечного каскада размещать на двух "половинках" магнитопровода). Это обеспечивает максимальную идентичность их индуктивностей при строго одинаковом числе витков. Толщина листов железа должна быть не более 0,35 мм. Использование железа толщиной 0,5 мм для выходных трансформаторов недопустимо.

Если все же используется магнитопровод из сборных пластин, то каждая из них обязательно должна быть отлакирована с обеих сторон, чтобы снизить до минимума потери на токи Фуко. То же относится и к пластинам-перемычкам.

Если усилитель двухканальный, то для высокочастотного канала для намотки выходного трансформатора лучше всего использовать ферритовый магнитопровод от выходного трансформатора строчной развертки старых ламповых телевизоров (трансформаторы типа ТВС-110). Более подробно об изготовлении трансформаторов будет рассказано далее.

Проще всего использовать готовый промышленный силовой трансформатор от старых ламповых телевизоров. Для этой цели подходят трансформаторы от телевизоров "Темп-6 (6М, 7, 7М)", так как их практически не нужно дорабатывать. Имеющуюся на таком трансформаторе обмотку накала кинескопа можно использовать для накала лампы первого (входного) каскада усилителя, общую накальную обмотку - для питания накала (через отдельный выпрямитель) ламп остальных каскадов. Правда, при использовании этого трансформатора, имеющего асимметричную вторичную обмотку, придется применить анодный выпрямитель, подробное описание и схема которого приведены в разделе "Источники питания".

В УЗЧ с выходной мощностью более 40 Вт лучше поставить готовый силовой трансформатор от телевизора КВН-49 либо изготовить подобный трансформатор самому по данным, приведенным в конце книги. Если же выходная мощность не превышает 20 Вт, вполне подойдут силовые трансформаторы от старых ламповых приемников "Минск-55", "Минск-Р7", "Нева-51 (52, 55)", "Октябрь", "Рига-Т689", которые придется переделать.

Для гарантии получения высокого качества трансформатор с необходимыми параметрами можно изготовить самостоятельно.

Дроссели фильтров выпрямителей лучше, и проще всего использовать заводские, предпочтительнее от телевизоров "Темп-3 (6, 7)", "Рубин-102", "Авангард", "Беларусь", или изготовить их по приводимым дальше данным. Принципиально новым для читателей этой книги может оказаться требование обязательной настройки дросселей фильтра в резонанс на частоту 100 Гц. Это необходимо для повышения эффективности фильтрации выпрямленного напряжения.

Наиболее трудоемки в изготовлении выходные трансформаторы Здесь не удастся использовать ни один стандартный трансформатор от промышленных приемников и телевизоров, и их придется полностью выполнить самостоятельно, начиная от специального каркаса для обмоток и кончая внешними экранами. Дело это трудоемкое и кропотливое, требует большого внимания и терпения, а также предполагает наличие специального оборудования и приспособлений (в первую очередь - намоточного станка с укладчиком провода "виток к витку" и точным счетчиком числа витков). Поэтому описанию изготовления выходных трансформаторов будет уделено особое внимание.

Конденсаторы. Требования, предъявляемые к конденсаторам и резисторам, предназначенным для использования в современных ламповых усилителях, существенно отличаются от требований для обычной бытовой радиоаппаратуры. Начнем с конденсаторов, и в первую очередь с переходных или разделительных, включаемых между анодом лампы предыдущего каскада и управляющей сеткой последующего.

Как правило, к обкладкам такого конденсатора бывает приложено довольно высокое постоянное напряжение (100...300 В), поэтому первое требование к ним - это соответствующее рабочее напряжение, которое должно по крайней мере на 30...50% превышать реально приложенное в схеме, т.е. иметь паспортное значение 250...500 В.

Нынешнее поколение радиолюбителей, воспитанное на полупроводниковой элементной базе, уже успело отвыкнуть от таких значений рабочих напряжений, поэтому на этот параметр следует обратить особое внимание.

Но главное требование к переходным (разделительным) конденсаторам - это недопустимость сколько-нибудь заметной утечки. Для того чтобы это было понятно, напомним, что переходной конденсатор одним концом подключен к источнику постоянного напряжения 200...300 В (анод предыдущей лампы), а другим - к сетке лампы следующего каскада, в цепи которой включен резистор утечки сетки

сопротивлением 0,5...1 МОм. Если даже ток утечки конденсатора составит всего 1 мкА, то на резисторе сопротивлением 1 МОм он создаст падение напряжения в 1 В, а это сдвинет на характеристике рабочую точку лампы также на 1 В, что сделает бессмысленной саму идею создания высококачественного усилителя.

Поэтому все без исключения конденсаторы для переходных цепей должны быть предварительно проверены и отобраны по этому параметру.

Для этого читателю придется собрать устройство по схеме, приведенной на рис. 3, и с его помощью осуществить индивидуальный отбор, подвергнув разбраковке, возможно, не один десяток конденсаторов.

Рис. 3. Схема устройства для измерения токов утечки конденсаторов

ВНИМАНИЕ!

Предостережение 1. Поскольку ток утечки по абсолютной величине весьма мал, для его измерения необходимо воспользоваться гальванометром. А чтобы случайно не вывести этот высокочувствительный и дорогой прибор из строя, необходимо строжайше придерживаться следующего порядка действий:

1. Установить переключатель S3 (смотри схему) в положение "Контроль".

2. Проверить испытуемый конденсатор тестером на отсутствие короткого замыкания (пробоя).

3. Подключить конденсатор к зажимам "$C_{испыт}$".

4. К зажимам "$U_{=}$" подключить высокое напряжение (300, 400 или 500 В в зависимости от рабочего напряжения конденсатора) и по шкале вольтметра проверить значение напряжения.

5. Переключатель S3 перевести в положение "Работа".

6. Не ранее чем через 30 с нажать на кнопку S2 и посмотреть на шкалу миллиамперметра, стрелка которого не должна отклониться ни на одно деление, после чего кнопку отпустить.

7. Левой рукой нажать кнопку S1, после чего, не отпуская первую кнопку, правой нажать кнопку S2 и по шкале гальванометра определить ток утечки конденсатора.

Предостережение 2. Если в п. 6 стрелка миллиамперметра хотя бы на ничтожную величину отклонилась от нуля, ни в коем случае не нажимайте на кнопку S1 (гальванометр), а конденсатор отложите как непригодный для использования в вашем УЗЧ.

Какой тип конденсаторов лучше всего применять? Вопрос этот весьма непростой, потому что большинство переходных конденсаторов должны иметь емкость 0,1...0,5 мкФ при рабочем напряжении

300...400 В. Чаще всего это бумажные или металлобумажные конденсаторы, а именно они, как правило, имеют большой ток утечки. Считается, что наилучшей изоляцией (а следовательно, и наименьшим током утечки) обладают конденсаторы с фторопластовой, полистирольной и полипропиленовой изоляцией. Однако большинство радиолюбителей не в состоянии определить тип изоляции конденсатора ни по его внешнему виду, ни даже по маркировке. Поэтому предлагаем на выбор наиболее подходящие типы из числа выпускаемых отечественной промышленностью. Вот эти типы:

КМ-3 0,22 мкФ 250 В; К10-47 0,1...1,0 мкФ 250 и 500 В;
К73-9 0,1...0,15 мкФ 400 В; К73-11 0,1...1,0 мкФ 400 В;
К73-15 0,1...0,22 мкФ 250 и 400 В; К73-16 0,22...1,0 мкФ 400 В;
К73-17 0,1...1,0 мкФ 400 В; К78-2 0,1 мкФ 300 В;
К78-4 0,47...1,0 мкФ 500 В; К78-6 0,12...1,0 мкФ 400 В.

Для низковольтных цепей (например, в устройствах регулировки громкости и тембра, тонкомпенсации, частотнозависимой обратной связи и т.п.) выбор типов конденсаторов менее критичен по отношению к току утечки и практически не ограничивает конструктора. В то же время для этих цепей на первый план выступает требование минимального отклонения фактической емкости от указанного номинала, что для разделительных конденсаторов несущественно.

Следует отметить, что порой не так важно абсолютное значение емкости конденсатора (оно вполне может отличаться от указанного на схеме даже на 10%), как одинаковость фактической емкости двух конденсаторов в двух одноименных цепях симметричной схемы.

К конденсаторам фильтров выпрямителей или оксидным конденсаторам в катодных цепях ламп требования наименее жесткие. Можно использовать любые имеющиеся в распоряжении типы, лишь бы они обеспечивали достаточный запас по значению рабочего напряжения и подходили по размерам и способу крепления. Необходимо напомнить, что в отдельных узлах (например, в выпрямителе-удвоителе) некоторые конденсаторы имеют незаземленный отрицательный вывод, который обычно соединен с корпусом конденсатора. В этих случаях корпус такого конденсатора должен быть надежно изолирован от корпуса усилителя, чтобы полностью исключить возможность случайного замыкания или поражения током высокого напряжения.

Резисторы. При подборе резисторов радиолюбитель, привыкший работать с транзисторами, столкнется с двумя новыми для него проблемами. Во-первых, в отличие от большинства транзисторных схем для лампового усилителя, где все лампы работают в классе А и, следовательно, потребляют заметную (порой значительную) мощность, существенной становится номинальная мощность резисторов, поэтому дальше в схемах вы сплошь и рядом будете встречаться с обозначением мощности 0,5; 1,0; 2,0 и даже 5,0 и 10,0 Вт. Обратите на эти обозначения должное внимание. Лучше всего использовать в работе резисторы типов МЛТ (ОМЛТ) с допусками 2 и 5%, С2-33Н с допу-

сками 1, 2 и 5%, Р1-4 с допусками 1, 2 и 5%, С1-4 мощностью 0,5 Вт и допусками 2 и 5 %.

Идеально было бы использовать прецизионные резисторы типов С2-14 или С2-29В с допусками 0,25...1,0%, охватывающие всю шкалу сопротивлений от 10 Ом до 5,1 МОм и мощностей от 0,125 до 2 Вт, однако это может быть накладно.

В качестве резисторов мощностью свыше 5 Вт лучше всего применять типы С5-35В (старое обозначение ПЭВ), С5-37 с допусками 5% или прецизионные типов С5-5 и С5-16 с допусками 0,5...2,0%.

Второй, более существенный момент - это допустимый разброс абсолютных значений. К сожалению, приходится констатировать, что в некоторых цепях требуется применение резисторов с допуском 1-2%. Можно утверждать, что у большинства радиолюбителей таких резисторов в ассортименте не окажется. Поэтому автором был предложен компромиссный вариант, состоящий в том, что вместо одного прецизионного резистора в отдельных ответственных случаях в схемах и на печатных платах предусмотрена "сцепка" из двух последовательно соединенных резисторов.

В этом случае сопротивление одного (основного) резистора выбирается чуть меньше указанного, а его недостаток компенсируется подбором сопротивления второго резистора. Сказанное поясним примером. Пусть на схеме указано суммарное сопротивление сцепки 110 кОм с допуском 1%. В этом случае из нескольких резисторов указанного номинала с помощью тестера (лучше - цифрового омметра) отбираем резистор, скажем, 105 или 108 кОм и дополнительно к нему из другой группы с номинальным значением 5,1 или 2,0 кОм резистор, имеющий сопротивление 5 или 2 кОм. Это, бесспорно, легче, чем найти резистор сопротивлением, равным точно 110 кОм.

Впрочем, не следует заранее пугаться: в схеме обычно встречается всего несколько резисторов, сопротивление которых столь критично. В большинстве других случаев вполне допустим разброс 5, а в некоторых цепях и до 10%.

В отношении переменных резисторов наибольшие трудности ожидают при применении сдвоенных и спаренных регуляторов громкости и тембра в стереоусилителях. Главный их недостаток состоит в том, что в положении минимального значения (ось - до конца влево) переход движка с графитового покрытия на металлическое основание у двух потенциометров происходит не одновременно: у одного - чуть раньше, у другого - чуть позже, вследствие чего, например, громкость в одном из каналов пропадает полностью, а в другом - нет. Для современного лампового усилителя это считается абсолютно недопустимым.

Если не повезет и вы не сможете подобрать достаточно идентичные сдвоенные потенциометры, придется их доработать. Доработка сведется к тому, что в одном из двух сдвоенных резисторов (а скорее всего в обоих) придется исправить этот дефект чисто механически - подгибанием дужки токосъемника, если это допускает конструкция, или взаимным, навстречу друг другу, смещением платформ, несущих токосъемники.

Кроме того, для обеспечения большего срока службы и предотвращения шорохов и тресков все без исключения оперативные регуляторы (громкость, тембр, стереобаланс) необходимо еще до установки в усилитель вскрыть, протереть рабочую (токонесущую) часть спиртом или чистым бензином (но не автомобильным и уж тем более не растворителем или ацетоном!), затем равномерно смазать чистым техническим вазелином (можно детским, но ни в коем случае не косметическим!), снова аккуратно и плотно закрыть крышками, а в зазор между осью и втулкой капнуть одну (не больше!) каплю машинного или трансформаторного масла.

В качестве установочных и регулировочных переменных резисторов, которыми придется пользоваться крайне редко, в основном при первичной регулировке и настройке усилителя, лучше всего выбирать пыле- и влагозащищенные, с надежным контактом между токосъемником и рабочей поверхностью дужки (например, типов СП3-9, СП3-16, СП3-45б, СП4-2М-б или проволочные подстроечные типов СП5-16В-б и СП5-2В).

Полупроводниковые приборы. Ранее было отмечено, что в современных ламповых усилителях транзисторы и диоды практически не используются ни одной из фирм-производителей.

Дело в том, что ламповые усилители, производимые западными фирмами, как правило, представляют собой либо самостоятельный мощный оконечный блок с линейной АЧХ, стандартным входом (1 или 10 В на нагрузке 600 Ом), выходом в 20, 40, 50 или 100 Вт на нагрузке 4 или 8 Ом без каких-либо регуляторов и индикаторов, либо полный УЗЧ (моно или стерео - и то и другое встречается одинаково часто) с коммутируемыми входами под стандартные источники звуковых сигналов, регулятором громкости и двумя регуляторами тембра. В стереоусилителях помимо этого иногда присутствует регулятор стереобаланса.

И это все. Никаких эквалайзеров, светодиодных индикаторов уровня сигнала, сигнализаторов перегрузки, экспандеров (расширителей динамического диапазона) - ничего, кроме действительно отличного высококлассного усилителя. А в таком усилителе транзисторы и в самом деле ни к чему.

В нашем случае мы имеем дело не с промышленными разработками, а с конструкциями, которые каждый читатель этой книги будет изготавливать в единственном экземпляре. Поэтому будет не только позволительно, но и оправдано усложнить конструкцию, введя в нее некоторые сервисные дополнения. К их числу следует отнести блок расширенных регулировок тембра (в четырех участках рабочего диапазона), систему индикации предельного неискаженного уровня выходного сигнала, электронно-оптическое устройство для точной установки стереобаланса по реальному сигналу и ряд других.

А поскольку все эти сервисные устройства на сам процесс усиления низкочастотных сигналов влияния не оказывают, вполне разумно выполнять их на транзисторах и полупроводниковых диодах, а не на дополнительных лампах, что мы скрепя сердце и сделаем.

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ДИЗАЙН

Принципиальные отличия ламповых УЗЧ (особенно мощных) от аналогичных транзисторных влекут за собой и заметные различия в требованиях, предъявляемых к их конструкции. Перечислим эти отличия:

1. Входные цепи всех каскадов лампового усилителя имеют на порядок большее сопротивление открытого входа, чем аналогичные транзисторные, а следовательно, так же на порядок больше подвержены воздействию внешних электрических полей (наводок).

2. В ламповых УЗЧ все без исключения лампы, в том числе и самые маломощные, в процессе работы непрерывно излучают тепло. Что касается мощных оконечных ламп, работающих в режиме класса А, то температура их стеклянных баллонов может достигать 90...100°С, а выделяемое тепло, если его постоянно не отводить, создает внутри футляра усилителя среду, неприемлемую для некоторых других деталей (например, конденсаторов фильтра выпрямителя).

3. Все ламповые УЗЧ имеют трансформаторный выход на акустическую систему, а поскольку полезная выходная мощность, как правило, превышает 20 Вт, доходя иногда до 100 Вт, выходные трансформаторы становятся источниками значительных магнитных полей в широком диапазоне звуковых частот. Это создает существенные магнитные наводки практически на все участки схемы и, как следствие, непредсказуемые положительные и отрицательные, но всегда паразитные обратные связи, делающие работу усилителя неустойчивой.

4. Особую неприятность в ламповых усилителях доставляют цепи питания накалов ламп, что в транзисторных усилителях исключено априорно. При этом источником дополнительного фона и наводок служат как сами лампы, так и соединительные провода накальных цепей, по которым течет ток, доходящий нередко до 10 А, вследствие чего вокруг этих проводов возникают поля с частотой 50 Гц, также являющиеся причиной существенных наводок.

Даже перечисленного достаточно для того, чтобы понять, что конструкция мощного лампового УЗЧ должна коренным образом отличаться от конструкций транзисторных усилителей. Основополагающими принципами при определении конструкции и компоновке узлов лампового УЗЧ должны быть:

1. Тщательнейшее экранирование всех цепей и узлов, как подверженных наводкам, так и создающих эти наводки. При этом технология экранирования имеет свою специфику, которой мы уделим дальше самое серьезное внимание.

2. Рациональное взаимное расположение узлов и ламп (особенно мощных), а также продуманная система конвекционного охлаждения либо принудительной вентиляции, обеспечивающие разумно приемлемый температурный режим внутри футляра усилителя.

3. Специальные схемные решения, сводящие к минимуму паразитные электрические и магнитные наводки (настройка в резонанс дросселей фильтров выпрямителей, питание накалов ламп постоянным током и ряд других).

4. Непривычное для радиолюбителей размещение силовых трансформаторов под определенным, экспериментально подобранным углом, обеспечивающее минимальное воздействие его магнитных полей на выходные трансформаторы.

Помимо этих забот у создателя современного лампового усилителя будет возникать и много иных, не менее важных. Например, как расположить блок питания и выходные каскады с их неотъемлемыми громоздкими выходными трансформаторами так, чтобы центр тяжести усилителя совпал с геометрическим центром конструкции. Или как расположить органы оперативного управления, чтобы, с одной стороны, ими было удобно пользоваться, а с другой, чтобы соединительные провода между ними и входными лампами были наикратчайшими. И таких проблем возникает немало. В дальнейшем при описании конкретных конструкций мы будем по возможности всесторонне рассматривать и решать эти проблемы.

Теперь о дизайне. Так уж сложилось, что абсолютно все фирмы, производящие современные ламповые усилители, как будто сговорившись (а может, так оно и было?), отказались от современных стилей оформления, а заодно и от современных конструкционных материалов. Все известные автору современные УЗЧ оформлены в стиле 50-х годов по американскому образцу, т.е. имеют приборный стиль. Чаще всего это прямоугольный металлический ящик, иногда с двумя боковыми деревянными стенками, выкрашенный в черный или темно-коричневый цвет (а в некоторых моделях - даже темно-серой молотковой эмалью). Пропорции футляра самые разнообразные: с наибольшей передней стенкой; с глубиной, превышающей ширину и высоту, с отношением ширины к глубине и высоте как 5:4:2.

Все органы управления, кроме сетевого предохранителя, выведены в один ряд на переднюю панель. Выключатель сети выполнен в виде обычного приборного тумблера. Ручки управления громкостью и тембром - простейшей цилиндрической формы, черного цвета с "накаткой" и винтовым креплением.

Верхняя металлическая крышка, задняя стенка и днище футляра имеют многочисленную перфорацию или удлиненные вентиляционные прорези над оконечными лампами, кенотронами и силовым трансформатором.

Создается впечатление, что западные конструкторы и дизайнеры поставили перед собой цель подчеркнуть, что современный ламповый усилитель благодаря своему совершенству ближе к специальной прецизионной аппаратуре, чем к обычной бытовой радиоаппаратуре, которая рядом с таким усилителем должна выглядеть как ширпотреб.

Мы не ставим подобной задачи, но тем не менее будем придерживаться максимальной простоты в оформлении и эргономичности наших конструкций, поскольку они рассчитаны на индивидуального пользователя, не боятся конкуренции со стороны других фирм и не нуждаются в рекламных внешних эффектах.

Впрочем, это вовсе не исключает того, что каждый, кто будет строить предлагаемые усилители, сможет оформить их в своем вку-

се, применяя самые современные материалы, но только не в ущерб основным требованиям, и в первую очередь - обеспечению надлежащего температурного режима.

МЕТОДИКА РЕГУЛИРОВКИ И ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ

Несмотря на то что эта книга рассчитана на опытных, квалифицированных радиолюбителей, имеющих достаточную практику в регулировке и налаживании разнообразных конструкций, автор позволит себе высказать несколько соображений, появившихся у него за сорокалетний опыт работы.

Итак, сначала о терминах. Что такое проверка, регулировка, настройка, налаживание, запуск, оживление, измерения, испытания? Вы можете четко определить эти понятия и сказать, чем они различаются? Думаю, нет. В таком случае давайте начнем с проверки.

Любой (подчеркиваем - любой) только что собранный аппарат, будь то промышленный телевизор или любительский магнитофон, никогда и ни при каких обстоятельствах нельзя включать в сеть в надежде, что он сразу заработает. И не потому, что он, скорее всего, не заработает, а потому, что после включения вы можете не успеть моргнуть глазом, как лишитесь этого глаза навсегда. Это может произойти в том случае, если поставленный вами без предварительной проверки конденсатор фильтра выпрямителя окажется пробитым или с недопустимой утечкой и взорвется именно в тот момент, когда вы наклонитесь над шасси.

Теперь вопросы: что проверять, как проверять, чем и в какой последовательности? Здесь ничего нового и оригинального придумать нельзя, поскольку этот процесс давно досконально отработан. Первое незыблемое правило: на поиски одного неисправного резистора или конденсатора в собранной конструкции уходит в 10...20 раз больше времени, чем на тщательную предварительную проверку всех используемых деталей вместе взятых. Из этого правила, в свою очередь, следует закон: в процессе монтажа усилителя на столе рядом с паяльником должны находиться тестер или щупы от лампового многошкального омметра и каждую деталь, прежде чем ее припаять или вставить в печатную плату, надо проверить прибором на отсутствие обрыва, короткого замыкания, утечки и на соответствие указанному номиналу. При достаточном навыке на проверку резистора и обычного конденсатора уходит не более 20...30 с, а конденсатора фильтра и потенциометра - 1,5...2 мин. Но, повторяем, эти затраченные секунды и минуты с лихвой окупятся при налаживании усилителя.

Итак, все детали в процессе монтажа нами проверены, бракованные заведомо исключены. Теперь на очереди проверка цепей. В производственных условиях для этой цели на каждое изделие разработаны специальные "карты сопротивлений", на которых для ряда ключевых точек схемы указаны значения сопротивления этих точек

как относительно шасси, так и относительно "горячего" провода источника питания (это может быть и плюс и минус).

В любительской практике составление такой карты не имеет смысла, поскольку изделие почти всегда создается в единственном экземпляре, однако саму проверку на реальные значения сопротивлений осуществить можно и нужно. Начинать ее следует в первую очередь с тех цепей, которые совершенно однозначно не должны быть заземлены и замкнуты между собой.

ВНИМАНИЕ! До начала проверки все без исключения потенциометры, как оперативные, так и установочные (режимные), должны быть установлены в среднее положение.

К таким незаземляемым точкам схемы прежде всего относятся "горячие" выводы всех выпрямителей (плюсы или минусы), аноды, экранирующие и управляющие сетки всех ламп, плюсовые (или минусовые) выводы всех оксидных конденсаторов и другие аналогичные точки и цепи, которые не должны заземляться. Вслед за этим проверяются все точки схемы, которые, напротив, должны быть заземлены либо соединены напрямую с "горячими" точками источников питания. Опытный радиолюбитель хорошо знает все эти точки и цепи (к примеру, это защитные крышки всех оперативных потенциометров, которых нет ни на одной принципиальной схеме). Закончив все операции проверки цепей и устранив выявленные дефекты и ошибки, можно перейти к следующей операции - запуску усилителя.

Напоминаем, что включать усилитель в сеть первый раз можно только при вынутых лампах (за исключением кенотрона). Если у радиолюбителя есть регулируемый автотрансформатор или переходной трансформатор с 220 на 127 В, настоятельно рекомендуем первое включение осуществлять при пониженном (половинном) напряжении сети. До того как нажать кнопку или тумблер включения сети, еще раз убедитесь, что в гнезде предохранителя установлен действительно предохранитель на 0,5 или 1 А, а не 20-амперный жучок или гвоздь. Кроме того, не забудьте подключить к первому конденсатору фильтра вольтметр постоянного тока с соответствующим пределом (250, 350 или 500 В) и с момента включения внимательно следите за показанием стрелки.

Если через 20...30 с (время прогрева накала кенотрона) напряжение в этой точке не появится, немедленно выключите усилитель, после чего найдите и устраните причину.

Если напряжение появилось (а оно равно приблизительно половине номинального, указанного на схеме), полезно проверить вольтметром наличие напряжений питания на всех электродах всех ламп. При отсутствии в панельках самих ламп эти напряжения, как правило, либо равны, либо очень близки к напряжению на выходе фильтра выпрямителя, поскольку отсутствует потребление тока и, как следствие, - падение напряжения на резисторах нагрузки.

Убедившись в отсутствии замыканий в схеме и наличии постоянных напряжений на всех электродах ламп (где оно должно быть), выключите усилитель и подготовьте его к включению на полное напряжение сети.

Предостережение. Поскольку следующее включение также производится при всех вынутых лампах (кроме кенотрона) и, следовательно, отсутствии потребления, в отдельных точках схемы напряжение питания может превысить допустимое и привести к выходу из строя некоторых деталей. Поясним сказанное рис. 4. Здесь питание двух первых ламп осуществляется через четыре последовательных звена фильтров, напряжение на каждом из которых уменьшается (при наличии нагрузки) и соответствует значениям, указанным на схеме. В точке А, например, на оксидном конденсаторе при нормальной работе усилителя должно быть напряжение +180 В. Но если на этом месте установлен конденсатор с рабочим напряжением 200 В (что вполне допустимо), то при включении усилителя без ламп на нем может оказаться полное напряжение холостого хода выпрямителя (скажем, 260 В) и конденсатор будет пробит. Чтобы предотвратить такую возможность, подобные цепи следует временно отключить от выпрямителя или нагрузить эквивалентными резистивными нагрузками.

Теперь включим усилитель (без ламп и с учетом данных рекомендаций) на номинальное напряжение сети (220 В) со вставленными кенотронами и оставим его включенным на 10...15 мин под постоянным наблюдением, чтобы убедиться в отсутствии посторонних запахов, выделений тепла, нагрева любых проводов и тем более следов дыма. Если и на этот раз все будет в порядке, можно приступать к следующему этапу.

В принципе совершенно безразлично, в какой последовательности осуществлять этот процесс, но почему-то традиционно принято начинать его с оконечного каскада. Поступим так и мы. Поскольку все оконечные каскады у нас двухтактные, начнем с одного из плеч (безразлично какого).

Прежде всего посмотрите, что находится в цепи катода этой лампы: если переменный регулировочный резистор, то обязательно установите его в положение максимального сопротивления и проверьте с помощью тестера, что это действительно так. Провод, идущий к анодному выводу на ламповой панельке, отпаяйте и в образовавшийся разрыв включите миллиамперметр постоянного тока со шкалой не менее 100 и не более 250 мА (минусом к аноду, плюсом к трансформатору).

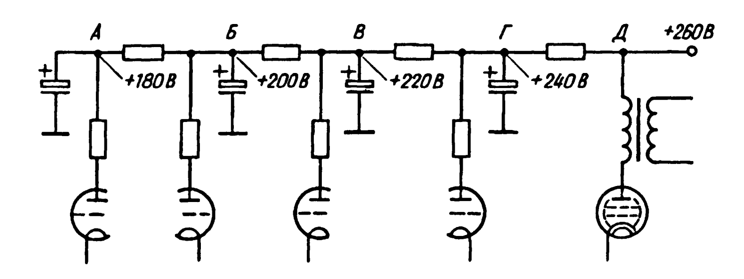


Рис. 4. Распределение напряжений на оксидных конденсаторах при последовательном включении RC-фильтров

Теперь можно вставить одну оконечную лампу, все кенотроны (если их несколько) и включить усилитель. При этом следует наблюдать за появлением накала оконечной лампы, и если его нет несколько секунд, надо немедленно выключить усилитель во избежание разрушения катода. Причиной отсутствия накала может быть неверная распайка накальных проводов на панельке или на силовом трансформаторе либо неисправность лампы. Если накал есть, наблюдайте за показанием прибора.

Предупреждение. Если в схеме выпрямителя предусмотрена цепь задержки включения анодного питания, то анодный ток возникнет через установленное время срабатывания реле "скачком". Если такой цепи нет, ток будет возрастать плавно по мере прогрева как самой лампы, так и кенотронов.

Когда ток перестанет возрастать и установится на определенном значении, проверьте по табл. 1 максимально допустимое значение анодного тока для этого типа лампы. Уменьшением сопротивления резистора в катоде лампы установите значение тока, равное половине максимально допустимого. Если оконечная лампа триод, то на этом предварительную установку режима можно считать законченной. Если же в оконечном каскаде используется пентод или лучевой тетрод, то после установки номинального анодного тока следует убедиться, что ток экранирующей сетки и рассеиваемая на ней мощность не выходят за пределы, указанные в той же таблице ($P_{-g2} = I_{-g2} \times U_{-g2}$).

Покончив с установкой статического режима одной оконечной лампы, проделайте то же с другой и в случае отсутствия осложнений переходите к установке режима фазоинвертора. Здесь очень важно сначала установить регулировочный потенциометр в цепи сетки правого триода в положение минимума (сетка заземлена) и только после этого вставить в панельку лампу.

Если напряжения на анодах и катодах обоих триодов после прогрева лампы будут соответствовать указанным на схеме (в пределах 10%-ного отклонения), можно предварительную статическую регулировку одного из стереоканалов считать законченной и приступить к аналогичной проверке и регулировке второго стереоканала. Если же режимы заметно отличаются от указанных на схеме, следует прежде всего попробовать другую лампу, а если это не поможет - замерить прибором анодный ток и еще раз проверить номиналы резисторов в анодной и катодной цепях (особенно если это не было сделано до начала монтажа).

Когда, наконец, напряжения и токи всех ламп в режиме покоя будут соответствовать рекомендованным, можно приступать к наиболее сложной и ответственной части работы - установке динамического режима. Динамическую (при наличии полезного сигнала) регулировку УЗЧ в отличие от статической целесообразнее вести покаскадно от входа к выходу и начинать с входного каскада. Однако в нашем случае мы пока что рассматриваем не весь усилитель, а только его оконечный блок, начинающийся первым из двух триодов фазоинвертора.

Перед тем как подать на сетку этого триода полезный сигнал, надо привести в боеготовность измерительную аппаратуру. Это, преж-

де всего, звуковой генератор с диапазоном частот не уже 20 Гц...20 кГц и собственным клирфактором менее 1%, во-вторых, ламповый или транзисторный милливольтметр с широким диапазоном пределов измерения (например, ЛВ-9 или МВЛ), обязательно - осциллограф и желательно - измеритель нелинейных искажений или анализатор гармоник.

Учитывая, что у большинства радиолюбителей не окажется измерителя нелинейных искажений (а без него бессмысленно говорить о действительно высоком качестве усилителя), предлагаем воспользоваться другим, хотя и более трудоемким, но все же достаточно достоверным способом оценки нелинейных искажений. Способ этот графоаналитический и заключается в следующем.

Перед началом динамической регулировки каскада нужно подготовить бланк для построения графической зависимости выходного напряжения каскада от уровня сигнала на сетке в координатах

$$X - U_{вх}\ [мВ]; \quad Y - U_{вых}\ [мВ].$$

Для этого лучше всего использовать лист тетради "в клеточку", что обеспечит достаточную точность построенного графика. Еще лучше воспользоваться миллиметровой бумагой.

Процесс построения графика сводится к дискретному изменению напряжения с частотой 1000 Гц от звукового генератора на сетке лампы (например, через 5 или 10 мВ) и точному измерению соответствующих значений сигнала на выходе каскада. Эти значения нужно наносить на график остро отточенным карандашом, чтобы диаметр точки был минимальным.

При отсутствии нелинейных искажений график зависимости представляет собой прямую, исходящую из начала координат и наклоненную к оси X под углом, характеризующим коэффициент усиления каскада.

Если рабочая точка лампы (смещение на ее сетке) выбрана оптимально, прямая будет практически абсолютно линейна до определенного уровня выходного напряжения, после чего ее наклон начнет плавно уменьшаться, в пределе стремясь к горизонтальной линии.

Построив такой график, нужно взять абсолютно ровную, желательно стальную линейку и приложить ее слева направо вдоль отмеченных точек графика, начиная от нуля. В том месте, где наметится самое ничтожное отклонение точек вправо от линейки, нужно поставить метку-точку и опустить из нее перпендикуляр на ось X. Место пересечения этого перпендикуляра с осью X определит предельный уровень входного сигнала, при котором нелинейные искажения уже недопустимы. Уровень допустимых искажений будет определяться предельным размахом входного сигнала на 10...15% меньше этого значения.

Определив этот размах, сравните его с напряжением смещения лампы в режиме покоя. При любых обстоятельствах размах сигнала должен быть меньше напряжения смещения. Одновременно, пользуясь построенным графиком, можно определить реальное значение усиления каскада, разделив любое из значений выходного напря-

жения (в пределах линейной части характеристики) на соответствующее входное напряжение. Сравните его с паспортным значением для данной лампы (см. табл. 1). Обычно реальное усиление каскада составляет около 50...70% указанного в таблице.

Если линейная часть характеристики оказалась слишком маленькой, то это, скорее всего, говорит о неверно выбранной рабочей точке лампы. В этом случае придется снять несколько динамических характеристик при различных значениях резистора автоматического смещения и выбрать тот режим, которому соответствует наибольшая длина линейной части характеристики. Напоминаем, что эту операцию можно проделывать лишь при наличии твердой уверенности в исправности самой лампы. В противном случае следует начинать с проверки лампы или замены ее на другую.

Закончив динамическую регулировку одного каскада, аналогичным образом осуществляют регулировку всех остальных каскадов, включая оконечный, если он также собран на триоде.

Для оконечного каскада, выполненного на пентоде или лучевом тетроде по ультралинейной схеме, регулировку и измерение производят несколько раз для различных вариантов подключения экранирующей сетки к отводам первичной обмотки выходного трансформатора и обязательно при подключенном ко вторичной обмотке эквиваленте нагрузки (проволочный резистор 4...8 Ом мощностью не менее 30 Вт). Это относится и к оконечному каскаду на триодах. Учтите, что он может нагреться до температуры свыше 100°С.

Из нескольких вариантов подключения экранирующей сетки выбирают тот, которому соответствует наиболее линейная динамическая характеристика. Обязательно к такому же отводу следует подключить экранирующую сетку и в другом плече пушпулла.

Осуществив динамическую регулировку всех каскадов поочередно, можно приступать к динамической регулировке всего усилителя в целом. Напомним, что ее необходимо производить на частоте 1000 Гц при установке всех оперативных регуляторов (громкость, тембр, баланс) в среднее положение.

И еще чуть-чуть из теории. Слово "усилитель" отражает основную сущность его назначения - усиливать электрический сигнал. Однако УЗЧ - это не просто усилитель, а устройство, предназначенное для совершенно конкретной и весьма узкой цели - превращать слабые изменения электрического тока в мощные механические колебания диффузоров громкоговорителей. Таким образом, УЗЧ - это всего лишь промежуточное звено между чисто электрическим источником переменного тока и электроакустическим преобразователем.

Ни источник сигнала, ни электроакустический преобразователь нам не подвластны: их характеристики заданы заранее и не могут быть изменены. Мы, например, не можем по своему желанию установить входную чувствительность усилителя равной 10 мВ или, напротив, 10 В, потому что все источники низкочастотного сигнала (кроме микрофона) в соответствии с существующими стандартами имеют выходное напряжение в пределах 50...250 мВ.

Точно так же заранее определены и параметры выходного сигнала нашего УЗЧ. Если он предназначен для работы с 20-ваттной

акустической системой, имеющей полное сопротивление 4 Ом, то на выходе усилителя номинальное напряжение сигнала должно составлять

$$U = \sqrt{PR} = \sqrt{20 \times 4} = \sqrt{80} \approx 9В,$$

обеспечивая при этом напряжении

$$I_{нагр} = U/R = 9/4 = 2{,}25\ А.$$

Итак, напряжение на входе 100...150 мВ при внутреннем сопротивлении источника порядка сотен килоом и напряжение на выходе 9 В при токе до 2,5 А. От этого никуда не деться. А вот между этими границами нам предоставляется свобода. Впрочем, не такая уж и полная. Чтобы обеспечить параметры выходного сигнала, используется мощность, отдаваемая лампами оконечного каскада. А они, в свою очередь, требуют для этого на своих сетках вполне определенного напряжения раскачки, определяемого исключительно конструкцией оконечной лампы. Значение этого напряжения можно узнать из справочника.

И еще. Мы хотим иметь хорошую, глубокую регулировку тембра, скажем, с размахом ±14 дБ (т.е. в 25 раз по напряжению). Значит, именно во столько раз будет потерян уровень полезного сигнала, и его придется компенсировать предварительным усилением. А еще мы потеряем на отрицательной обратной связи. А еще - на тонкомпенсации. А еще... и т. д. В результате набегает довольно большая потеря сигнала, скомпенсировать которую можно только предварительным усилением.

Зная эту величину, выбирают соответствующие типы ламп и число каскадов для предварительного усиления. И вот здесь нам никто не указ, поскольку эту задачу можно решить множеством способов. Впрочем, достаточно теории. Вернемся к динамической регулировке всего сквозного канала УЗЧ от входных гнезд до разъема подключения динамиков.

Итак, мы уже поняли, что на входе усилителя будет сигнал с уровнем 100...150 мВ. Значит, и от звукового генератора нам следует получить этот сигнал (на частоте 1000 Гц - не забыли?) и подвести его к входному разъему одного из стереоканалов. Разумеется, в качестве соединителя следует использовать только стандартный экранированный шланг от прибора. Регулятор громкости нужно установить в положение максимальной передачи (до упора по часовой стрелке), а коммутатор каналов, если он есть в усилителе, установить в нужное положение.

Ламповым милливольтметром проверьте наличие сигнала непосредственно на сетке первой лампы, подключите осциллограф прямо к аноду этой лампы (если у осциллографа незащищенный вход - то через конденсатор 0,1 мкФ на напряжение не менее 250 В) и включайте усилитель.

После прогрева лампы проверьте отсутствие малейших искажений синусоиды на осциллографе. Если искажения явно наблюдаются, сравните реальное напряжение раскачки на сетке с тем максимально допустимым уровнем сигнала, который вы определили

для этой лампы по снятой характеристике при динамической регулировке каскада. Если уровень подаваемого сигнала окажется больше допустимого (что маловероятно), придется на самом входе усилителя (прямо на входных гнездах) установить элементарный делитель из двух резисторов, общее сопротивление которых должно находиться в пределах 0,5...1 МОм. Если же искажений на осциллографе не наблюдается (что нормально), начинайте плавно увеличивать сигнал от звукового генератора до появления видимых искажений на экране осциллографа, после чего замерьте соответствующий уровень выходного сигнала генератора. Он должен быть никак не меньше 500 мВ (лучше, если он будет ближе к 1000 мВ).

Отрегулировав первый каскад, снова установите на выходе генератора 100...150 мВ и перенесите щуп осциллографа на анод лампы второго каскада. Его регулировка и измерение уровня сигналов, за единственным исключением, ничем не отличаются от описанных. Оно состоит в том, что обычно на катод лампы подается напряжение отрицательной обратной связи со вторичной обмотки выходного трансформатора. Для установки глубины обратной связи имеется специальный установочный потенциометр, который сначала надо установить в положение нулевого уровня (движок заземлен).

Установка этого потенциометра в нужное положение производится в последнюю очередь, когда уже будут выполнены абсолютно все остальные регулировки. Этим окончательно устанавливается чувствительность с входа.

Регулировка динамического режима фазоинвертора в принципе также ничем не отличается от описанной, кроме последовательности. Вначале регулируется первый (прямой) триод, а затем с помощью движка потенциометра в цепи сетки второго (инверсного) триода устанавливается на аноде второго триода абсолютно такой же сигнал, что и на аноде первого триода. Расхождение сигналов на обоих анодах не должно превышать 0,5, максимум 1%. Чтобы добиться такого результата, положение регулировочного потенциометра придется уточнять несколько раз.

Принцип регулировки оконечного каскада уже был подробно рассмотрен ранее. Нам остается только проследить за тем, чтобы при уровне сигнала на входе УЗЧ, равном 100...150 мВ, напряжение на сетках ламп оконечного каскада было таким, какое требуется для получения максимальной неискаженной выходной мощности. Не больше, но и не меньше. Требуемое напряжение устанавливается с помощью специально предусмотренных регулировочных резисторов, включенных между выходом драйверного и входом оконечного каскадов.

Такова методика регулировки высококачественного УЗЧ. Впрочем, она одинаково применима к регулировке и налаживанию практически любой радиоаппаратуры.

Более детально и подробно эти вопросы освещаются в разделах, посвященных регулировке конкретных усилителей, описанных в этой книге.

СТЕРЕОФОНИЧЕСКИЙ УЗЧ 2х15 Вт ВЫСШЕГО КЛАССА

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА

Изготовление стереофонического усилителя высшего класса, а главное - регулировка и налаживание требуют не только самой высокой квалификации радиолюбителя, но и наличия современной измерительной аппаратуры в достаточном ассортименте: звукового генератора с диапазоном 20...30000 Гц и клирфактором не более 0,25% во всем диапазоне частот; осциллографа с калибровкой уровня; лампового милливольтметра переменного тока с таким же частотным диапазоном и пределами измерения 1 мВ ... 50 В; миллиамперметров с пределами измерения 1 мА ... 500 мА; микроамперметра постоянного тока (гальванометра), позволяющего измерять ток утечки конденсаторов в пределах 0,1...1 мкА, ну и, разумеется, многошкального цифрового омметра с диапазоном измерений от 1 Ом до 5 МОм.

Желательно иметь измеритель нелинейных искажений, улавливающий клирфактор до 0,2...0,5% или измеритель-анализатор гармоник, но это скорее пожелание, чем реальность.

Радиолюбителям, которые никогда не имели дело с ламповыми усилителями или с электронными лампами, можно порекомендовать начать с более простой конструкции. Специально для них в книге приведено описание более простого усилителя, представляющего модификацию весьма популярной в 60-е годы разработки автора. Судя по многочисленным откликам читателей, усилитель был успешно повторен сотнями радиолюбителей.

Этот усилитель мощностью в 12 Вт имеет высокие качественные показатели, несложен в изготовлении, прост в регулировке и легко повторяем. А уж построив такой усилитель и приобретя достаточный навык в обращении с ламповыми усилителями, можно перейти к изготовлению более сложной модели.

Предлагаемый стереоусилитель, структурная схема которого приведена на рис. 5, состоит из двух идентичных каналов, каждый из которых представляет собой пятикаскадный УЗЧ с двухтактным трансформаторным выходом, все каскады которого, включая оконечный, работают в режиме класса А. Наличие пяти каскадов отнюдь не вызвано необходимостью получения достаточного усиления: в этом смысле предоконечный каскад (драйверный) можно безболезненно убрать.

Введение драйвера, да еще и выполненного на отдельных одиночных триодах типа 6С3П вместо одного сдвоенного триода типа 6Н1П или 6Н3П, продиктовано в первую очередь стремлением к унификации схемы. Дело в том, что если радиолюбитель впоследствии пожелает увеличить мощность своего усилителя, применив в оконечном каскаде вместо лучевых тетродов 6П27С мощные триоды типов 6С6С или 6Н13С, то раскачка от фазоинвертора на лампе 6Н2П окажется недостаточной. В нашем же случае достаточно

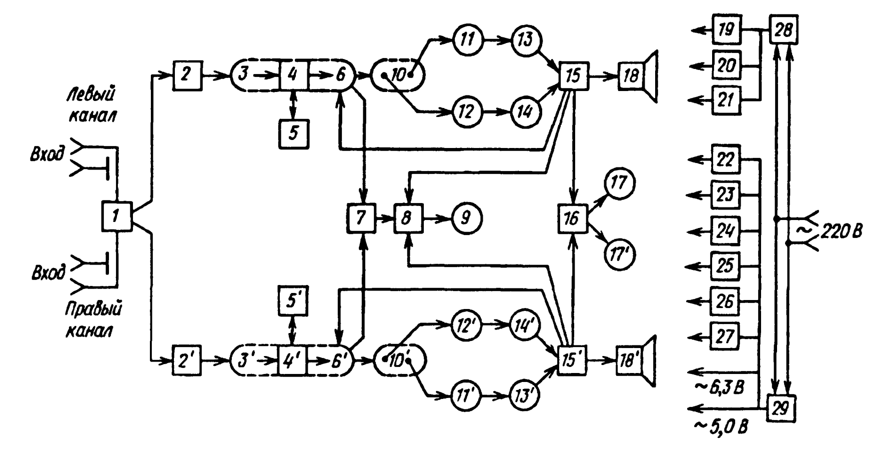


Рис. 5. Структурная схема стереоусилителя высшего класса

1 - коммутатор входных сигналов; *2* - тонкомпенсированный регулятор громкости; *3* - 1-й каскад предварительного усиления; *4* - коммутатор частотных характеристик (кланг-регистр); *5* - блок плавных регулировок тембра; *6* - 2-й каскад предварительного усиления; *7* - регулятор стереобаланса; *8* - схема точной установки стереобаланса; *9* - индикатор точной установки стереобаланса; *10* - фазоинвертор; *11,12* - предоконечный (драйверный) каскад; *13,14* - двухтактный оконечный каскад (пушпулл); *15* - выходной трансформатор; *16* - схема индикатора перегрузки усилителя; *17*.- индикаторы перегрузки; *18* - акустическая система; *19*.- анодный выпрямитель 250 В; *20* - анодный выпрямитель 150 В; *21* - выпрямитель индикатора стереобаланса 250 В; *22* - релейный выпрямитель 27 В; *23,24* - выпрямители схемы индикации перегрузки +12 и -12 В; *25-27* - выпрямители цепей накала 6 В; *28* - силовой трансформатор (анодный); *29* - силовой трансформатор (накальный)

заменить драйверные триоды 6С3П на более мощные 6С19П без переделки схемы (не считая, разумеется, изменения распайки ламповых панелек).

Но даже и в исходном варианте с лампами 6П27С наличие драйверного каскада благотворно сказывается на качестве усилителя, поскольку позволяет без потери общего усиления охватить каждый каскад более глубокой отрицательной обратной связью.

Оконечный каскад собран по ультралинейной схеме, в которой экранирующая сетка соединяется не с плюсом источника анодного питания, а подключена к отводу первичной обмотки выходного трансформатора. Такая схема является как бы промежуточной между пентодным и триодным включением лампы (экранирующая сетка соединена с анодом).

При таком включении лампа соединяет все достоинства оконечного пентода и оконечного триода: анодно-сеточная характеристика становится исключительно прямолинейной (отсюда и название режима - ультралинейный), что обеспечивает минимальные нелинейные искажения при значительном размахе анодного тока, анодное напряжение изменяется в меньших пределах, а крутизна характеристики, входное сопротивление и коэффициент

усиления лишь немного уступают классической пентодной схеме включения.

В сочетании с применением класса усиления А это позволяет на двух лампах типа 6П27С получить неискаженную (коэффициент нелинейных искажений менее 1%) выходную мощность 12...15 Вт в каждом канале фактически во всем диапазоне воспроизводимых частот.

Условно усилитель разделен на несколько функциональных блоков. При этом и конструктивное исполнение в значительной мере повторяет это деление, что намного упрощает процесс настройки и регулировки усилителя в целом.

Первый блок включает две оконечные лампы, выходной трансформатор, две лампы предоконечного (драйверного) каскада и одну лампу (двойной триод) фазоинверсного каскада. Напомним, что это касается лишь одного канала, а в реальном стереоусилителе таких полностью идентичных блоков будет два.

Второй блок представляет собой двухкаскадный усилитель напряжения (предварительный усилитель), собранный на одном двойном триоде типа 6Н1П. Между выходом первого каскада и входом второго включен третий, конструктивно обособленный блок - блок регуляторов тембра или кланг-регистр. Оба каскада предварительного усиления выполнены по самой элементарной резистивной схеме с общим катодом и охвачены глубокой отрицательной обратной связью по току. Помимо этого второй каскад включен в петлю дополнительной отрицательной обратной связи по напряжению, снимаемому с вторичной обмотки выходного трансформатора.

Третий блок - регуляторы тембра - представляет собой самостоятельный конструктивно законченный узел, содержащий кнопочный переключатель рода работы (кланг-регистр) на пять положений, четыре плавных регулятора тембра и регулятор стереобаланса. Вся конструкция этого блока заключена в глухой запаянный жестяной корпус-экран, связь блока с входной лампой осуществлена экранированными проводами. Провода эти выполнены специальным образом и особо распаяны.

Четвертый блок - регулятор громкости. Он содержит сдвоенный потенциометр с кривой В и печатную плату с элементами схемы тонкомпенсации. Он наглухо заэкранирован в отдельном корпусе. Экранированные провода от этого блока идут к входным разъемам усилителя через пятый отдельный блок - блок коммутации каналов, а также к сеткам ламп первого (входного) каскада предварительного усилителя.

Пятый - блок коммутации каналов - представляет собой кнопочный переключатель типа П2К с тремя взаимозависимыми группами. Он позволяет включать один левый канал при закороченном входе правого, один правый канал при закороченном входе левого, оба канала врозь в режиме "Стерео" или два канала параллельно в режиме "Моно". Блок тщательно экранирован.

Шестой блок - силовой. Он состоит из одного или двух силовых трансформаторов, двух анодных выпрямителей на напряжения 270 и 150 В, двух накальных выпрямителей, двух резонансных П-образ-

ных фильтров высокого напряжения, двух выпрямителей с выходом +12 и -12 В, отдельного слаботочного выпрямителя на 250 В для устройства индикации точного стереобаланса и одного релейного выпрямителя на 27 В. Если радиолюбитель в дальнейшем предполагает модифицировать усилитель (например, увеличить выходную мощность до 50 Вт), ему следует силовой блок выполнить по второму варианту с двумя силовыми трансформаторами: одним анодным и одним накальным. Вариант такого блока будет описан дальше.

Седьмой блок состоит из отдельной печатной платы-схемы, предназначенной для визуальной индикации точного стереобаланса. Он содержит оптический индикатор настройки на лампе 6Е3П и обслуживающее его устройство, выполненное на транзисторах и диодах.

Восьмой блок принципиально к схеме УЗЧ никакого отношения не имеет и представляет собой сервисное устройство для оперативного контроля основных режимов усилителя в наиболее ответственных точках схемы. Правда, наличие такого блока многократно упрощает процесс первичной регулировки и настройки собранного усилителя, а также позволяет в любой момент, не прерывая работы усилителя и даже не открывая его задней стенки, осуществлять контроль электрических режимов и параметров почти всех ламп и каскадов. Так что радиолюбитель должен сразу решить для себя, нужен или не нужен ему такой блок, и если не нужен, то можно смело пропустить его описание.

Рассмотрим работу каждого блока. Итак, блок первый.

ОКОНЕЧНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ, ДРАЙВЕРЫ И ФАЗОИНВЕРТОР

Вернемся к вопросу об использовании ламп в оконечном каскаде. Схема (рис. 6) выполнена на отечественных выходных лучевых тетродах типа 6П27С, которые ранее в бытовой радиоаппаратуре не применялись. Эта лампа разработана и выполнена как полный аналог немецкой лампы EL-34, которая, напротив, достаточно широко применялась на Западе. Лампа EL-34 имеет прекрасные характеристики и отлично зарекомендовала себя именно в качестве оконечной при ультралинейной схеме включения. Она исключительно надежна в эксплуатации, долговечна, не склонна к самовозбуждению на ультразвуковых частотах и практически не подвержена появлению термотока в цепи управляющей сетки.

Что же касается нашего отечественного аналога 6П27С, то в отношении него очень справедливо популярное сегодня изречение: "Хотели как лучше, а получилось как всегда". Дело в том, что, несмотря на полную идентичность конструкций и одинаковость всех паспортных электрических данных, наша лампа по сравнению с EL-34 из-за специфики технологии отечественного лампового производства имеет ряд существенных недостатков. И в первую очередь - это повышенная критичность к режимам питания.

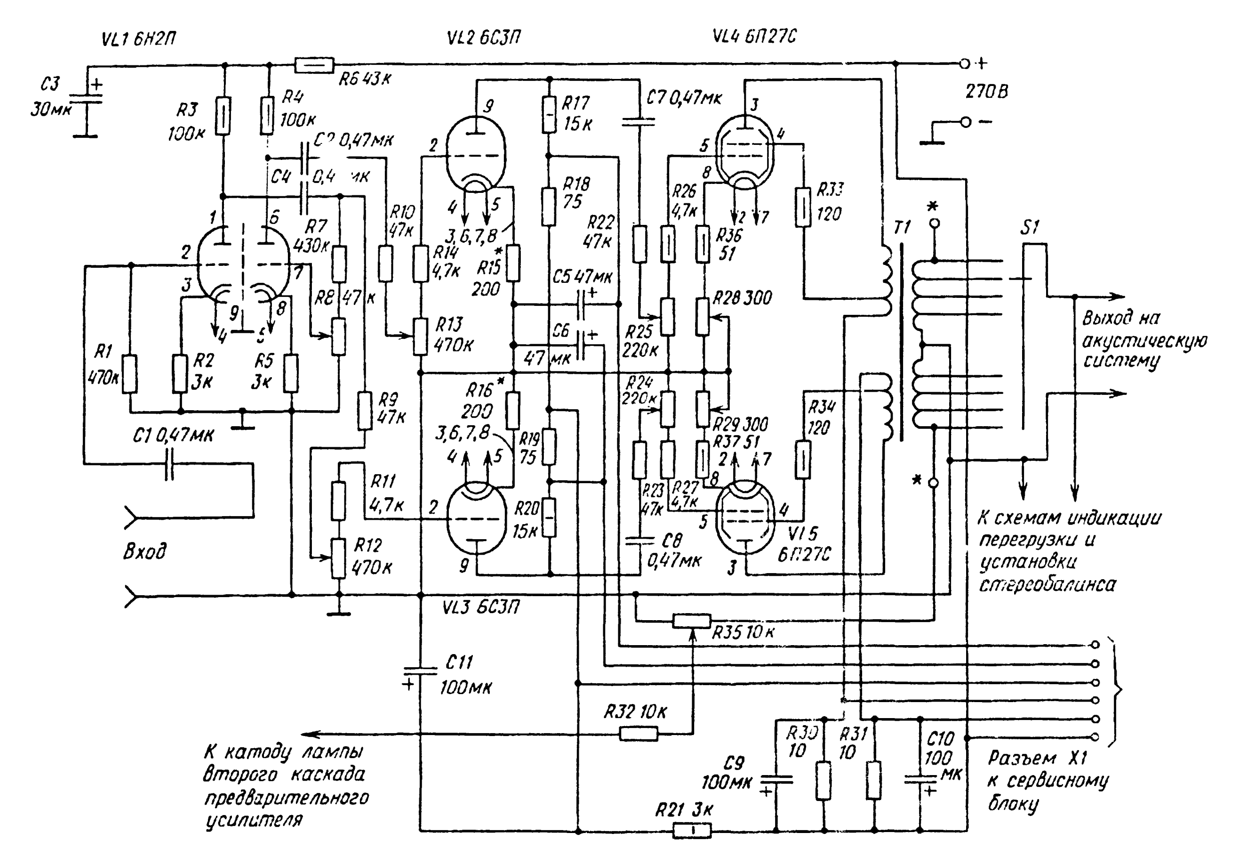


Рис. 6. Принципиальная схема оконечного усилителя

За этим стоит весьма прозаичная причина: при откачке воздуха из баллона лампы остаточный воздух в ней оказывается сильно загрязненным цеховой пылью, сажей и парами масла от вакуумного насоса. В результате даже при малейшем перекале или перегреве конструкции внутри баллона (например, из-за неэффективного внешнего охлаждения баллона) возникает термоток управляющей сетки, полностью нарушающий нормальный режим работы лампы.

С другой стороны, даже самый незначительный недокал приводит к совершенно недопустимому разрежению "электронного облака" вокруг катода и, как следствие, - вырыванию активной массы с поверхности катода полем высокого анодного напряжения. Именно это последнее обстоятельство вынуждает ввести в усилитель релейное устройство, задерживающее подачу анодного напряжения на оконечные лампы до полного прогрева их катодов после включения усилителя.

Из сказанного очевидно, что лучше всего постараться приобрести лампы EL-34. Если же такой возможности нет, то для одного экземпляра усилителя потребуются как минимум шесть ламп 6П27С: по две рабочих в каждый из стереоканалов и по одной запасной на случай возможного выхода из строя одной из рабочих ламп.

В отношении остальных ламп дело обстоит значительно проще. В драйвере с одинаковым успехом можно использовать как триоды 6С3П, так и 6С4П, отличающиеся в основном цоколевками. Подбирать и отбирать эти лампы не нужно, чего не скажешь о лампах 6Н1П и 6Н2П, предназначенных для использования во входном каскаде. Здесь из-за значительной утечки в цепи катод-накал внутри лампы ее анодный ток оказывается промодулирован частотой 50 Гц, что практически не позволяет уменьшить уровень собственного фона усилителя ниже определенного порога.

В описываемых усилителях для борьбы с этим явлением приняты специальные меры, о которых будет рассказано дальше. Тем не менее при окончательной регулировке усилителя желательно иметь шесть-восемь экземпляров этих ламп. Это необходимо для того, чтобы можно было по фактическому остаточному уровню фона отобрать из них две наилучшие.

Теперь непосредственно об особенностях схемы. Прежде всего следует обратить внимание на резисторы R18, R19, R30 и R31 в анодных цепях оконечных и предоконечных ламп. К усилителю они никакого отношения не имеют и предназначены для сервисного блока (для оперативного контроля анодных токов ламп 6П27С и 6С3П). Если радиолюбитель не собирается вводить в конструкцию усилителя сервисный блок, то эти резисторы следует сразу же исключить из схемы (закоротить).

Далее следует остановиться на регулировочных (установочных) резисторах R28 и R29. Строго говоря, вместо них вполне можно установить соответствующие по мощности постоянные резисторы, поскольку их сопротивления придется подбирать один раз при первичной регулировке усилителя, да еще при замене оконечных ламп. В этом случае потребуются резисторы с допуском 1%, а сам процесс подбора сопротивлений этих резисторов потребует

значительных усилий и займет много времени, поскольку его придется повторять многократно, постепенно приближаясь к оптимальному значению. Поэтому оставляем решение этого вопроса на усмотрение конструктора, хотя со своей стороны автор настоятельно рекомендует сохранить регулировочные потенциометры.

В понятие "оконечный усилитель" нами включен и фазоинверсный каскад на лампе 6Н2П, каждый из триодов которого по существу является дополнительным промежуточным усилителем между вторым каскадом и драйвером. При этом левый (по схеме) триод просто усиливает напряжение сигнала, а правый переворачивает фазу сигнала на 180° и затем усиливает его. Поскольку в этом случае сигнал фактически усиливается дважды, его необходимо уменьшить на величину, равную коэффициенту усиления одного триода. Эта задача решается путем включения дополнительного установочного потенциометра R8 в цепь сетки правого триода.

Резисторы автоматического смещения в катодах обеих ламп не шунтируются конденсаторами, создавая тем самым широкополосную частотно-независимую отрицательную обратную связь по току.

И наконец, выходной трансформатор. Поскольку вопросам изготовления выходных трансформаторов в книге посвящена отдельная глава, мы опустим здесь его описание, тем более не исключено, что некоторые читатели, не сумев приобрести лампы EL-34 или 6П27С, будут делать оконечный каскад на лампах, для которых выходной трансформатор окажется совсем иным.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ ДВУХКАСКАДНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ

Этот усилитель собран на двойном триоде 6Н1П по схеме (рис. 7) с общим катодом и резистивной частотно-независимой нагрузкой. Фактического усиления даже одного каскада на самом деле более чем достаточно для обеспечения заданной чувствительности усилителя с входа (около 100 мВ). После первого каскада в схему включен блок регулировок тембра с глубиной регулировки ±14 дБ и "уравнивающими" делителями в кланг-регистре, что приводит к дополнительной двукратной потере сигнала. Помимо этого на входе усилителя применен тонкомпенсированный регулятор громкости, выполненный по нетрадиционной схеме, "съедающий" 6...12 дБ. В результате для компенсации всех перечисленных потерь приходится вводить второй каскад усиления напряжения. Оба каскада охвачены отрицательной обратной связью по току из-за наличия неблокированных резисторов R2 и R10 автоматического смещения в цепях катодов. Помимо этого второй каскад дополнительно включен в петлю отрицательной обратной связи по напряжению, охватывающей фазоинвертор, драйвер и оконечный каскад. Напряжение обратной связи для этой петли снимается с вторичной обмотки выходного трансформатора и подбирается в процессе регулировки усилителя потенциометром R35 (см. рис. 6). На рис. 8 приведен чертеж печатной платы усилителя, на рис. 9 показано расположение деталей на плате.

Рассмотрим подробнее вопрос о фоне с частотой 50 Гц, возникающем в цепи накал-катод первой лампы, о чем уже упоминалось раньше, и о мерах борьбы с этим явлением. Для этого нам потребуется досконально разобраться в физике происходящего процесса. Рассмотрим схему на рис. 10,*а*.

У любой лампы между нитью накала и катодом имеется сопротивление утечки, значение которого колеблется от сотен килоом до нескольких мегаом. Предположим, что это сопротивление будет 470 кОм (на рис. 10,*б* показана эквивалентная схема цепи накал-катод, где внутреннее сопротивление утечки обозначено через $R_{ут}$). Благодаря имеющемуся на катоде положительному потенциалу относительно шасси (напряжение автоматического смещения +2 В) участок накал-катод можно рассматривать как проводящий открытый диод с внутренним сопротивлением, равным $R_{ут}$. Через этот диод по цепи обмотка накала - промежуток накал-катод - резистор автоматического смещения - второй конец обмотки накала потечет ток, и напряжение обмотки (6,3 В) окажется поделенным на сопротивлениях $R_{ут}$ и $R_к$ в отношении 100:1.

Иначе говоря, к сопротивлению автоматического смещения окажется приложено паразитное переменное напряжение частотой 50 Гц и значением 6,3:100 = 0,063 В. Это напряжение, введенное последовательно в анодную цепь лампы, усилится всеми последу-

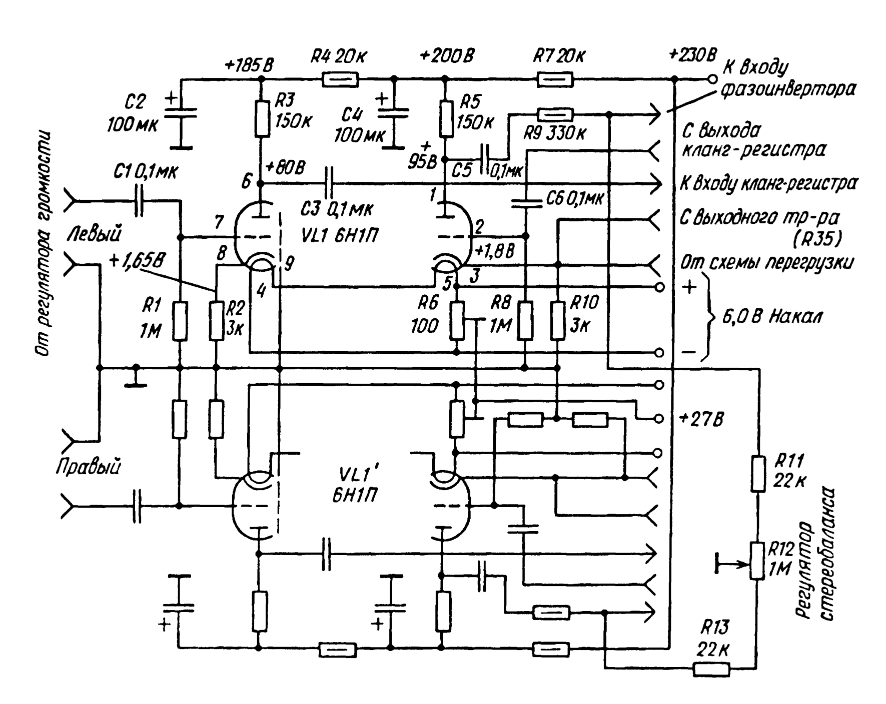


Рис. 7. Схема предварительного двухкаскадного усилителя напряжения

Рис. 8. Печатная плата предварительного усилителя

Рис. 9. Расположение деталей на печатной плате

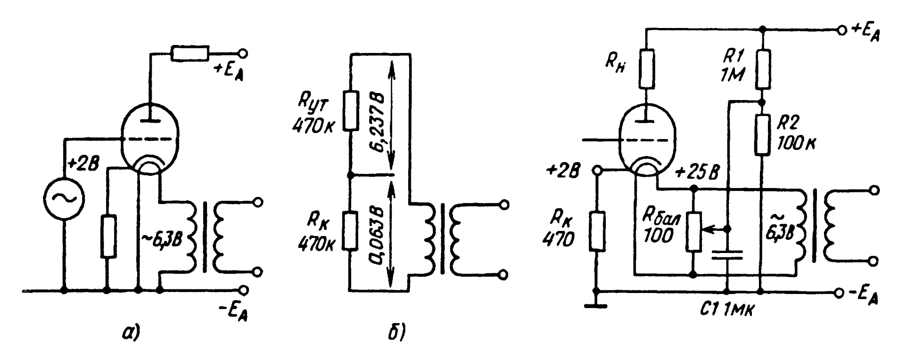


Рис.10. Схема возникновения фона 50 Гц в первом каскаде усилителя напряжения

Рис.11. Схема подавления фона 50 Гц в первом каскаде

ющими каскадами и создаст на выходе усилителя заметное напряжение фона. Если при этом учесть, что полезное напряжение сигнала на входе усилителя составляет 100...200 мВ, то окажется, что этот полезный сигнал всего лишь вдвое или втрое больше паразитного фона.

Чтобы устранить проникновение фона из цепи накала, достаточно нарушить проводимость паразитного диода накал-катод. Это можно сделать, подав на нить накала положительный потенциал, превышающий напряжение автоматического смещения. Один из вариантов такой схемы представлен на рис. 11. Цепь накала лампы здесь не соединена с шасси. Положительный потенциал на накал лампы подается от дополнительного делителя напряжения через балансировочный потенциометр, с помощью которого при регулировке усилителя добиваются минимально возможного уровня фона.

Именно так и сделано в нашем усилителе. Постоянное напряжение +27 В в цепь накала вводится от отдельного релейного выпрямителя, питающего два коммутационных реле, а само напряжение накала предварительно выпрямляется диодным мостом в блоке питания и фильтруется оксидным конденсатором большой емкости (4000 мкФ). Оптимальное положение балансировочного потенциометра подбирают при окончательной регулировке усилителя по минимуму фона на его выходе. Следует напомнить, что уровень этого фона весьма незначителен, поэтому измерять его следует ламповым милливольтметром со шкалой не более 5 мВ, а еще лучше - осциллографом, на экране которого фон с частотой 50 Гц явно выделяется среди других наводок и шумов.

БЛОК РЕГУЛИРОВКИ ТЕМБРА И КЛАНГ-РЕГИСТР

Схема регулировки тембра в описываемом усилителе состоит из четырех плавных регуляторов и четырехпозиционного коммутатора - кланг-регистра, формирующего четыре фиксированные частотные характеристики УЗЧ. Обе части схемы конструктивно

объединены в общий блок, тщательно экранированный и соединяющийся с предварительным усилителем помехозащищенными проводами.

Для более гибкой регулировки и расширения возможности выбора оптимальной формы сквозной амплитудно-частотной характеристики усилителя весь рабочий диапазон от 20 Гц до 30 кГц разделен на четыре области, в пределах которых регулировка тембра осуществляется отдельным потенциометром. Первый участок охватывает частоты 20...100 Гц, второй - 100 Гц...1 кГц, третий - 1 ...8 кГц и четвертый - 8...20 кГц. В пределах своей области регуляторы изменяют уровень сигнала на ±10...14 дБ. При среднем положении всех регуляторов общая частотная характеристика усилителя относительно линейна во всем рабочем диапазоне.

Для повышения комфортности пользования усилителем в нем помимо плавных регуляторов тембра имеется кланг-регистр, позволяющий устанавливать заранее сформированные частотные характеристики простым нажатием на одну из четырех клавиш переключателя. Характеристики заранее сформированы таким образом, что соответствуют наиболее типичным формам звуковых программ. Эти характеристики весьма условно и произвольно названы "Речь", "Концерт", "Джаз" и "Интим". Они показаны на рис. 12, соответствующие им принципиальные схемы - на рис. 13. Схема плавных регуляторов тембра приведена на рис. 14. На рис. 15 изображена печатная плата блока кланг-регистра с размещенными на ней деталями и распайка переключателя, а на рис. 16 - его полная электрическая схема.

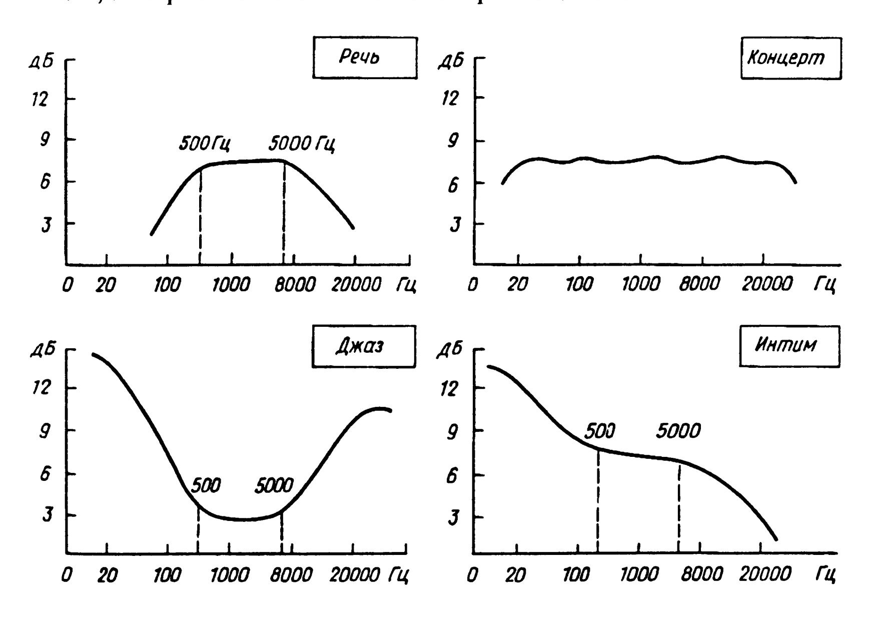


Рис.12. Частотные характеристики фиксированных режимов кланг-регистра

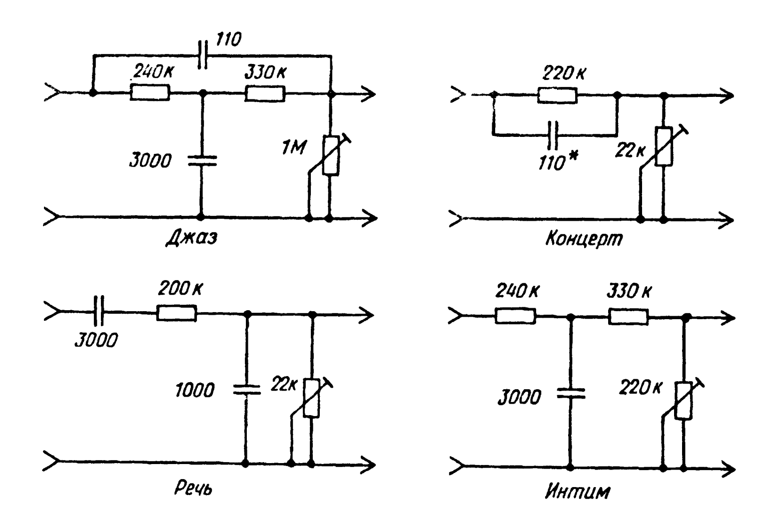


Рис.13. Схемы, формирующие фиксированные частотные характеристики

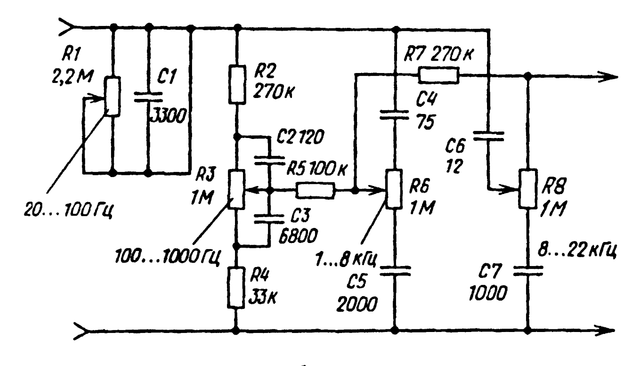


Рис.14. Схема плавных регуляторов тембра

При нажатии любой из четырех клавиш все четыре плавных регулятора тембра отключаются, а при нажатии пятой кнопки - "Тембр плавно" - включаются.

Никаких электрических хитростей и особенностей эта схема не содержит, но конструктивное исполнение заслуживает самого тщательного анализа. Это связано с тем, что от правильности и грамотности этого исполнения зависят уровень интермодуляционных искажений и минимально достижимый уровень собственного фона и наводок, а следовательно, и реальный динамический диапазон всего усилителя, являющийся одним из важнейших его параметров.

Для того чтобы твердо уяснить общий для любых усилителей принцип грамотного монтажа, внимательно рассмотрим рис. 17, иллюстрирующий соединение сеточной цепи лампы с входным разъемом, отстоящим от лампы на некотором расстоянии. Еще раз подчеркнем, что принцип этот общий для соединения любых двух участков схемы, один из которых является источником сигнала, а другой - приемником.

Это могут быть микрофон и лампа усилителя микрофонного каскада, входное гнездо магнитофона и коммутатор рода работ или, как в нашем случае, первые два каскада УЗЧ и блок регуляторов тембра. При этом особое внимание следует обратить на то, что источником сигнала в данном случае является анод лампы первого каскада, а приемником сигнала - сетка лампы второго каскада и, следовательно, никакие заземления внутри этого участка недопустимы. Иными словами, внутри наглухо заземленного металлического корпуса блока регуляторов тембра ни одна деталь не должна заземляться непосредственно на шасси или экранирующий кожух, а только на специальную хорошо изолированную от корпуса шину. Сказанное иллюстрируется рис. 18.

Теперь о самих экранированных проводах. Ни один из промышленно выпускаемых типов проводов в "чистом" виде нам не подходит. Все экранированные провода придется делать самостоятельно. Делается это несложно. Если вы внимательно посмотрите на рис. 17, то

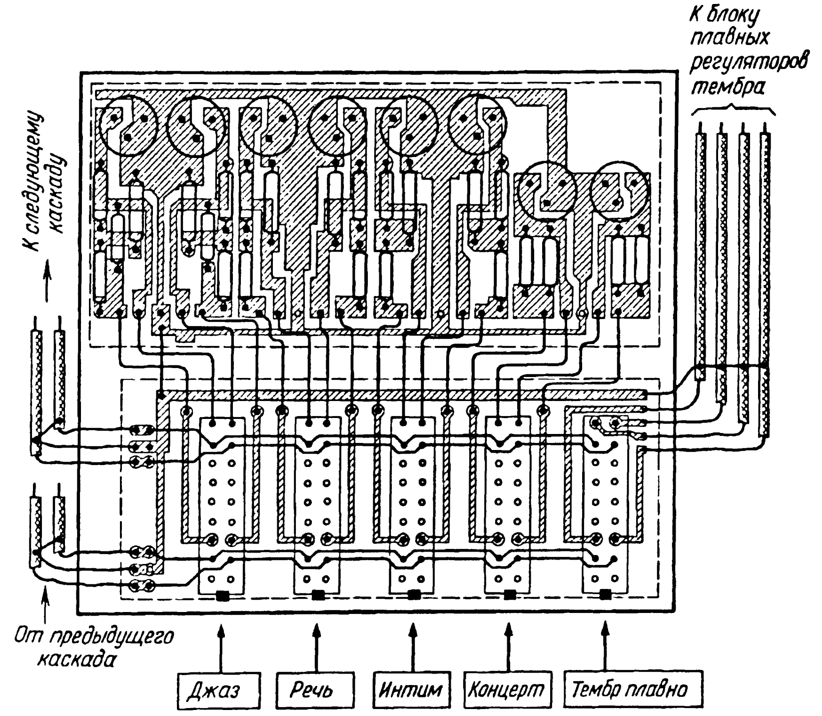


Рис.15. Печатная плата блока кланг-регистра и распайка переключателя

Общий Вход УЗЧ
Правый
Левый
Клангрегистр
Левый Правый
К сеткам ламп входных каскадов УЗЧ
Левый
Правый
Вход 2-го каскада
Выход 1-го каскада
Левый
Правый
Джаз
Речь
Интим
Концерт
Тембр плавно
Громкость
8...20 кГц
1...8 кГц
100...1000 Гц
20...100 Гц
Баланс

Рис.16. Электрическая схема блока кланг-регистра

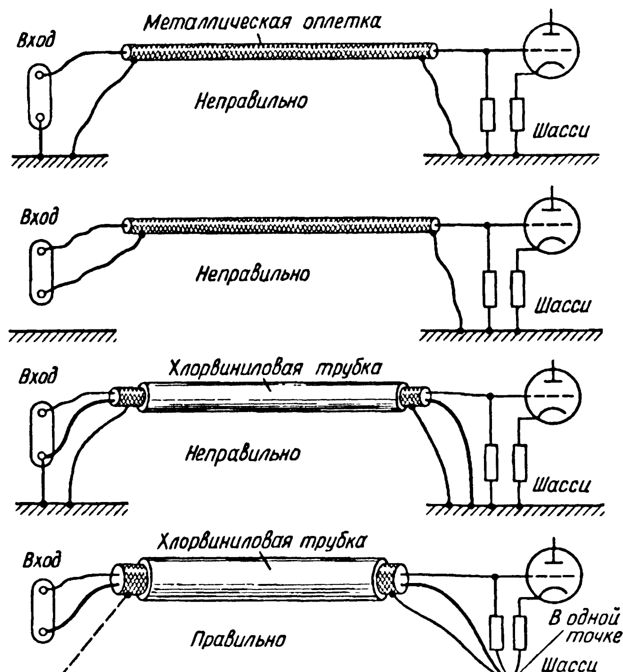


Рис.17. Правильные и неправильные способы экранирующих соединений

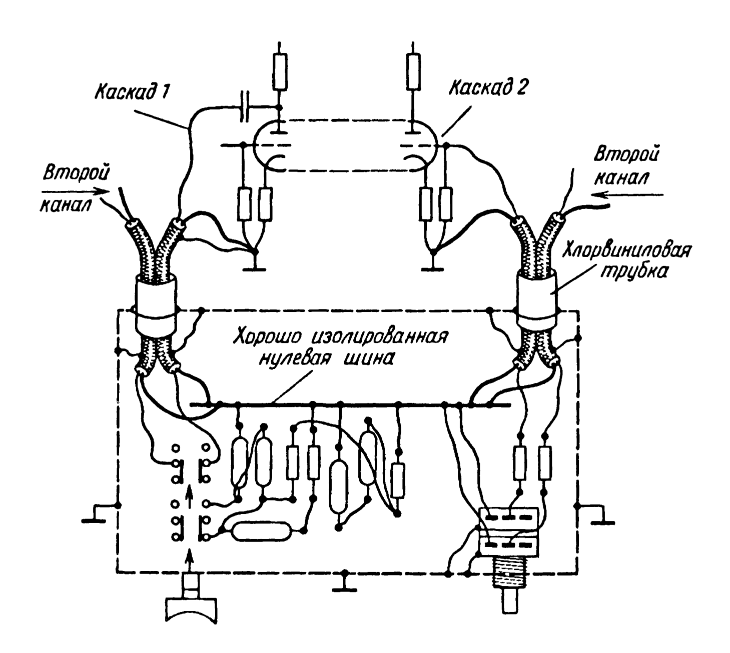


Рис.18. Правильная распайка нулевых проводов и экранирующих оплеток внутри функциональных блоков

увидите, что внутри экранирующей оплетки помещены два провода: один обозначен тонкими линиями, другой - толстыми. Такое условное разделение соответствует фактическому. Действительно, все экранированные провода в нашем усилителе выполнены по принципу куклы-матрешки: внутри обычной металлической экранирующей оплетки помещены два провода разного диаметра - один тонкий (сигнальный) обязательно цветной многожильный в хлорвиниловой или фторопластовой изоляции сечением 0,2...0,35 мм^2, другой также многожильный, но сечением не менее 0,5 мм^2 - нулевой, т.е. заземляемый. Оба эти провода вместе с экранирующей оплеткой помещены в изолирующий хлорвиниловый чулок.

Настоятельно рекомендуем взять за правило и присвоить различным цепям усилителя определенные цвета проводов. Выбор самих цветов может быть произвольным. Он, как правило, зависит от фактического ассортимента имеющихся проводов у радиолюбителя, но некоторых правил все же лучше придерживаться.

Так, все нулевые провода, подлежащие заземлению, лучше делать черными и толстыми (сечением 0,5...0,75 мм^2), плюсовые провода выпрямителя - красными, а если выпрямителей несколько - то красными, розовыми и оранжевыми. Все сигнальные провода одного из стереоканалов - зелеными, а другого - синими (или голубыми). Цепи накала ламп - белыми или серыми. Для цепей вспомогатель-

ных устройств и систем можно выделить коричневые, желтые, сиреневые или тонкие черные.

Такой порядок намного упростит процесс монтажа и исключит путаницу при распайке сдвоенных регуляторов громкости и тембра (какой из проводов от левого канала, какой - от правого).

Для самостоятельного изготовления экранированных соединительных кабелей нужно либо взять "чистую" металлическую оплетку, либо снять ее с промышленного одиночного экранированного провода, затем продеть в оплетку два изолированных провода (один тонкий - сигнальный, другой толстый - нулевой) и все это вместе с оплеткой протянуть внутрь хлорвинилового чулка соответствующего диаметра.

Это можно делать двумя способами: изготавливать каждый отдельный конкретный провод заранее определенной длины или же сразу заготовить 10...15 м провода, а затем отрезать по мере необходимости куски нужной длины. Из практики можно сказать, что второй способ значительно экономит время.

Для монтажа накальных цепей и сетевых проводов внутрь одной оплетки помещают оба провода (можно одного цвета) и также изолируют оплетку хлорвиниловым чулком.

Теперь об упоминавшейся выше "нулевой" шине внутри экранированных блоков. Если в блоке размещается печатная плата с радиоэлементами, то роль шины может выполнять одна из печатных дорожек. Она должна быть как можно шире.

Для уменьшения ее сопротивления дорожку надо залудить и напаять на нее сверху по всей длине отрезок голого медного, а еще лучше посеребренного провода. Если же монтаж внутри блока не печатный, а навесной (например, на коммутационном переключателе), то роль шины может выполнять такой же отрезок голого провода, закрепленный концами на "холостых" выводах переключателя или на специальных изоляционных опорных точках.

Учтите, что все сигнальные межкаскадные и входные цепи ламповых усилителей имеют входные и выходные сопротивления на порядок бóльшие транзисторных и измеряются сотнями килоом и мегаомами. В связи с этим существенное влияние на частотную характеристику УЗЧ начинают оказывать собственные емкости экранированных проводов.

Известно, что эта емкость прямо пропорциональна длине экранированного провода и обратно пропорциональна расстоянию от внутреннего провода (жилы) до оплетки. Поэтому не стремитесь использовать современные тонкие и сверхтонкие (диаметром 3, 2 и даже 1,5 мм) фирменные экранированные провода и по возможности делайте экранированные соединения покороче.

БЛОК РЕГУЛИРОВКИ ГРОМКОСТИ

Возможно, этот участок схемы не следовало называть отдельным блоком, но сделано это потому, что регулятор громкости в нашем усилителе помещен в отдельную металлическую коробочку-экран, внутри которой находятся сдвоенный потенциометр и небольшая печатная плата с элементами схемы тонкомпенсации для обоих каналов.

Экранировать регулятор приходится по двум причинам: для снижения наводок на входную цепь первой лампы и для устранения паразитных обратных связей между ним и расположенными рядом регуляторами тембра, входящими электрически в состав следующего каскада, где уровень сигнала превышает входной на величину усиления первого каскада, т.е. в несколько десятков раз.

В качестве регулятора громкости применен сдвоенный потенциометр 2х1,0 МОм с кривой В, имеющий общую ось управления. Поскольку он включен во входную цепь первой лампы, особенно существенной становится надежность электрического контакта между токопроводящей "подковой" и токосъемником. В случае ненадежного контакта при регулировке громкости неизбежно возникновение шорохов и тресков, поэтому перед установкой регулятора его в обязательном порядке нужно разобрать, промыть и смазать вазелином, как было рекомендовано раньше.

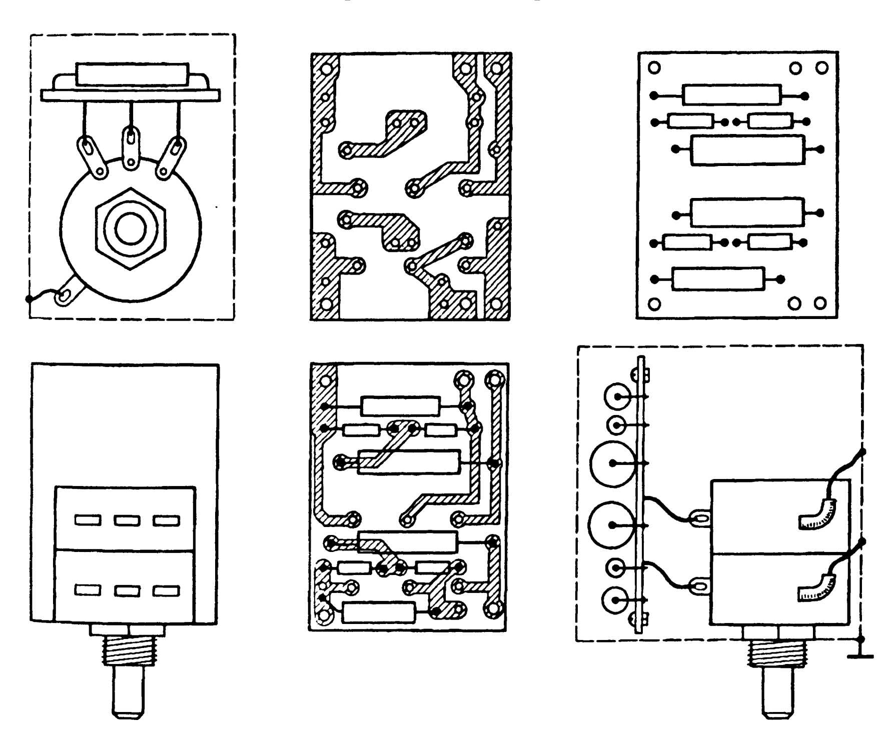


Рис.19. Конструкция узла регулятора громкости и печатная плата схемы тонкомпенсации

Что касается печатной платы с элементами схемы тонкомпенсации, то она закрепляется непосредственно на выводах потенциометров с помощью восьми толстых отрезков одножильного провода, предварительно припаянных к выводам потенциометров (два вывода от заземляемых металлических крышек) и пропущенных в восемь отверстий на плате.

На рис. 19 приведены чертеж этой платы и размещение на ней деталей схемы. Ее размеры выбраны под конкретный тип регулятора, использованный автором. Читателю придется самому определить размер платы в зависимости от типа используемого потенциометра и габаритных размеров элементов схемы. Конструкция экрана понятна из рис. 19, а его размеры определяются конструкцией усилителя и размерами потенциометра и печатной платы.

БЛОК КОММУТАЦИИ КАНАЛОВ

Блок коммутации каналов представляет собой переключатель типа П2К с тремя взаимозависимыми ячейками по четыре переключающие группы в каждой. Переключатель предназначен для

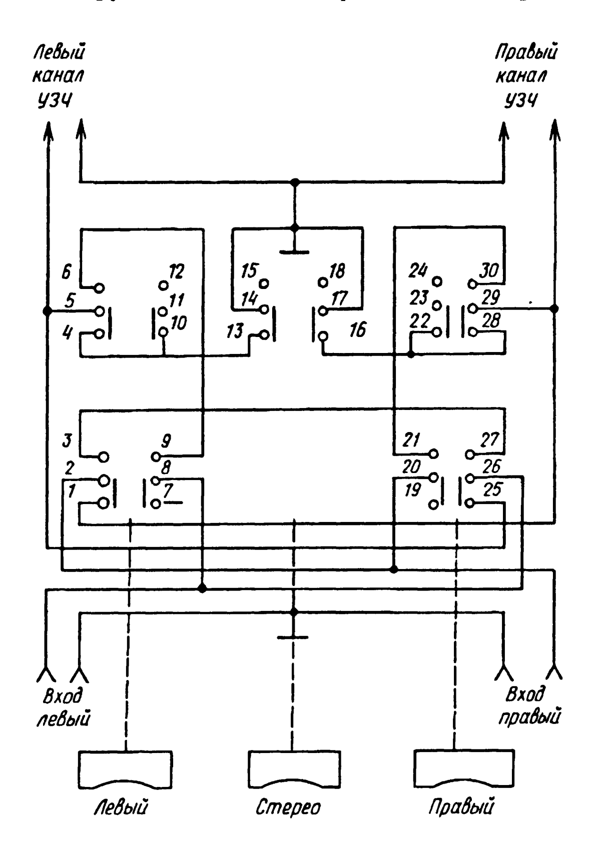


Рис.20. Схема коммутатора входных сигналов и режимов "Моно-стерео"

коммутации входных гнезд и входов левого и правого каналов стереоусилителя и создает пять разных режимов работы усилителя. Электрическая схема коммутатора приведена на рис. 20. Режимы эти следующие.

1. Все три кнопки отпущены (не нажаты). При этом положении переключателя оба входа усилителя закорочены (заземлены) через цепи контактов 5-4-13-14-Земля и 29-28-16-17-Земля. Этот режим предназначается для измерения уровня собственного фона полностью собранного усилителя в процессе его регулировки, а также в том случае, если усилитель входит в состав полного аудиокомплекса, включающего стереомагнитофон, проигрыватели обычных и лазерных дисков, стереорадиотюнер, телевизор и другие устройства.

2. Нажата только кнопка "Левый". В этом случае входное гнездо левого канала подключается к входу левого канала усилителя по двум параллельным цепям контактов: 8-9-6-5 и 26-25, а вход правого канала остается заземленным по цепи 29-28-16-17-Земля.

3. Нажата только кнопка "Правый". Вход левого канала закорочен по цепи 5-4-13-14-Земля, а вход правого соединен с правым входным гнездом по двум параллельным цепям: 20-21-30-29 и 2-1.

4. Нажата кнопка "Стерео". Сигнал от левого входа попадает на левый усилитель, а от правого - на правый по цепям 26-25 и 2-1 соответственно.

5. Одновременно нажаты кнопки "Левый" и "Правый". Сигнал поступает на входы своих усилителей так же, как и при нажатии каждой из этих кнопок по отдельности, но при этом входы обоих каналов соединены между собой по цепи 5-6-9-8-26-27-3-2-20-21-30-29.

Переключатель коммутатора сигналов помещен в глухой металлический кожух-экран и электрически соединен с блоком регулятора громкости и входными разъемами отдельными экранированными проводами.

СИЛОВОЙ БЛОК

Прежде чем приступить к описанию силового блока, напомним, что его конструкция и электрические данные определяются лампами усилителя, и в первую очередь - оконечного каскада. Это связано с тем, что анодные напряжения для различных типов ламп сильно различаются. Для ламп EL-34 (6П27С) или EL-12, к примеру, анодное напряжение должно быть 250...270 В, а для оконечных триодов 6Н5С или 6С19П - всего 90...100 В. То же самое можно сказать и о некоторых лампах для драйверов и фазоинверторов.

Отсюда ясно, что параметры выпрямителей также будут различными. Если при этом учесть, что мощность, потребляемая всеми лампами усилителя, в целом остается одинаковой при любых типах оконечных ламп, то из закона Ома вытекает, что при напряжении 100 В ток, потребляемый от выпрямителя, будет в 2,5 раза больше, чем при напряжении 250 В. В свою очередь, это определяет, обеспечит ли необходимый выпрямленный ток один кенотрон типа

5Ц3С или придется применить два кенотрона (или один более мощный, например типа 5Ц8С).

Кроме того, при использовании в оконечном каскаде высоковольтных ламп можно ограничиться одним общим выпрямителем для всех ламп усилителя. Если же в оконечном каскаде применены низковольтные лампы, то для питания остальных ламп придется выполнить отдельный выпрямитель на 230...250 В.

К выбору схемы и конструкции силового блока следует приступать только после того, как вы определитесь с выбором типов оконечных ламп. Но даже и в этом случае имеет смысл заранее предусмотреть возможность модернизации усилителя. Для этого:

1. Мощность силового трансформатора (а отсюда и его габаритные размеры) должна иметь достаточный запас.

2. Повышающую (или повышающие) обмотки лучше всего выполнить с отводами, позволяющими снимать с них напряжения 90-100-110-120 В и 230-240-250-260 В.

3. Повышающие обмотки лучше всего иметь две (а может даже, и три), если потребуется несколько высоковольтных выпрямителей (например в случае применения устройства индикации точного стереобаланса).

4. Накальных обмоток понадобится не менее семи: две для оконечных ламп левого и правого каналов (раздельные), две для входных ламп, две для остальных ламп в каждом канале и одна для индикатора точного стереобаланса. Помимо них могут понадобиться одна или две накальные обмотки для кенотронов (если они есть).

5. Должны быть дополнительные обмотки для релейного выпрямителя с отводами на 12, 18 и 27 В в зависимости от типа используемого реле, а также для двух отдельных выпрямителей на +12 и -12 В.

Из сказанного следует, что практически ни один из промышленных силовых трансформаторов (от телевизоров и радиол) не подойдет уже хотя бы по числу накальных обмоток. Поэтому радиолюбителю так или иначе придется либо доработать имеющийся готовый трансформатор, подходящий по мощности и размерам окна для обмоток, либо изготовить новый трансформатор.

В первом случае не придется, по крайней мере, наматывать первичную (сетевую) обмотку и будет уже известно число витков на 1 В (по данным смотанной с него старой накальной обмотки). Во втором случае, скорее всего, понадобится провести полный электрический расчет трансформатора, что, впрочем, несложно сделать, воспользовавшись любым из имеющихся многочисленных справочников по электротехнике и источникам питания.

Теперь поговорим о выпрямителях. Начнем с "высоковольтных", т. е. анодных. Здесь возможны два варианта: либо вы применяете кенотроны, и тогда становится ненужной схема релейной задержки включения анодного напряжения, либо вы сохраняете эту схему, и тогда вполне допустимо в качестве вентилей вместо кенотронов применить кремниевые диоды. При этом варианте существенно упрощается силовой трансформатор, поскольку для полупроводникового выпрямителя, выполненного по мостовой схеме, понадобится

вдвое меньшее число витков вторичной (повышающей) обмотки, чем для двухполупериодной схемы на кенотроне с общим катодом.

Более предпочтителен вариант с диодными мостами и устройством задержки, поскольку при этом помимо всего прочего экономится 20...30 Вт мощности на накал кенотронов. Впрочем, как поется в популярной песенке, "...думайте сами, решайте сами: иметь или не иметь...".

Следующая забота - фильтры выпрямителей. Раньше уже упоминалось, что для повышения их эффективности в усилителе осуществлена настройка дросселей фильтров в резонанс на удвоенную частоту сети 100 Гц, поскольку при мостовой схеме выпрямления частота пульсаций будет именно такой.

Настройку производят подбором емкости конденсатора, включаемого параллельно дросселю. Делают это заранее, еще до установки дросселя на шасси. Методика настройки весьма проста. Нужно собрать измерительную схему, изображенную на рис. 21, к ее входу подключить звуковой генератор, а к выходу - осциллограф или милливольтметр переменного тока.

Если вам известна (хотя бы приблизительно) индуктивность дросселя, то для сокращения времени на настройку по кривой на рис. 22 следует определить порядок величины требуемой для резонанса емкости и настройку дросселя начинать с такой емкости.

Подключив конденсатор к катушке дросселя и установив выход генератора (на частоте 100 Гц) таким, чтобы стрелка вольтметра была ближе к середине шкалы, изменяют в небольших пределах частоту генератора, наблюдая за показанием прибора. В одном случае напряжение на выходе будет уменьшаться, в другом - увеличиваться.

Продолжая изменять частоту генератора в сторону увеличения выходного напряжения, достигают точки, в которой напряжение станет максимальным. Этой точке соответствует фактическая резонансная частота системы дроссель-конденсатор. Если она оказалась выше 100 Гц, емкость конденсатора следует увеличить, что можно сделать, подключив параллельно имеющемуся конденсатору дополнительный. Если же фактическая резонансная частота оказалась ниже 100 Гц, вместо имеющегося конденсатора нужно поставить другой, меньшей емкости.

Так путем постепенного подбора емкости настраивают дроссель точно на частоту 100 Гц. Заметим, что неточность настройки всего на 10 Гц снижает эффективность фильтра более чем вдвое.

Установившееся рабочее напряжение на конденсаторе будет небольшим, равным падению постоянной составляющей на дросселе. Однако это не дает права ставить туда низковольтный конденсатор. Дело в том, что в первый момент включения сопротивление оксидных конденсаторов фильтра (особенно большой емкости)

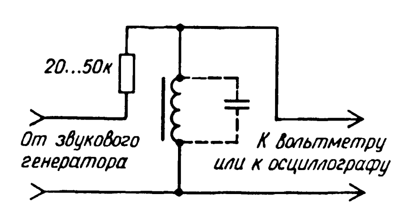


Рис.21. Измерительная схема для настройки в резонанс дросселя фильтра

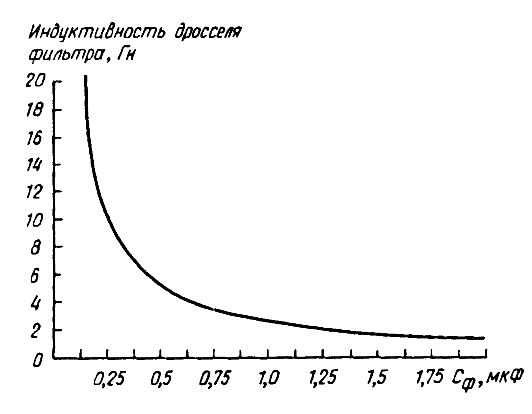


Рис.22. График для определения резонансной емкости фильтра

близко к нулю, и если первый (входной) конденсатор почему-либо окажется отключенным (из-за обрыва или потери емкости), то в момент включения к дросселю будет приложено почти полное напряжение выпрямителя (например, 250 В). То же самое произойдет при случайном коротком замыкании в схеме после дросселя, поэтому на всякий случай настроечный конденсатор фильтра лучше взять на рабочее напряжение не менее 250 В.

Теперь о выпрямителях цепей накала ламп. Мы уже говорили, что для обеспечения минимально достижимого уровня фона из цепей накала для ламп предварительного усиления (особенно входных) необходимо применять специальную схему подпитки небольшим положительным потенциалом (15...25 В), с балансировкой средней точки и желательно питать накал постоянным током. Такая схема приведена на рис. 23. На ней показаны все без исключения накальные цепи для всех ламп обоих каналов. В качестве выпрямителей используются мостовые схемы на кремниевых диодах типов КД202, КД204, КД208, КД212, КД226 или Д302, Д303, Д304 в зависимости от потребляемого лампами тока накала. С конструктивной точки зрения удобнее применять диоды КД226, заключенные в пластмассовый корпус и приспособленные для установки на печатные платы, или (только для входных ламп с током накала не более 0,3 А) диодные спарки типа КД205 с любой буквой.

При выборе типов диодов и при намотке силового трансформатора необходимо учитывать, что при работе мостовой схемы прямое падение напряжения на открытых диодах составит: для диодов Д302, Д303, Д304 - 0,5...0,6 В, для КД202, КД205, КД208 и КД212 - 2 В, для КД226 - 2,8 В, а для КД204 - 4 В. Это падение фактически вычтется из значения выпрямленного напряжения (при полной нагрузке), поэтому для получения необходимых 6 или 6,3 В подводимое к мосту переменное напряжение должно быть больше на указанное значение.

Лучше всего при намотке накальных обмоток сделать от каждой из них два-три отвода, а всю обмотку заранее намотать с необходимым запасом.

На выходе накальных выпрямителей включены конденсаторы фильтра на рабочее напряжение не ниже 10 В и емкостью по принципу "чем больше, тем лучше" в пределах, определяемых исключительно наличием свободного места. Можно рекомендовать

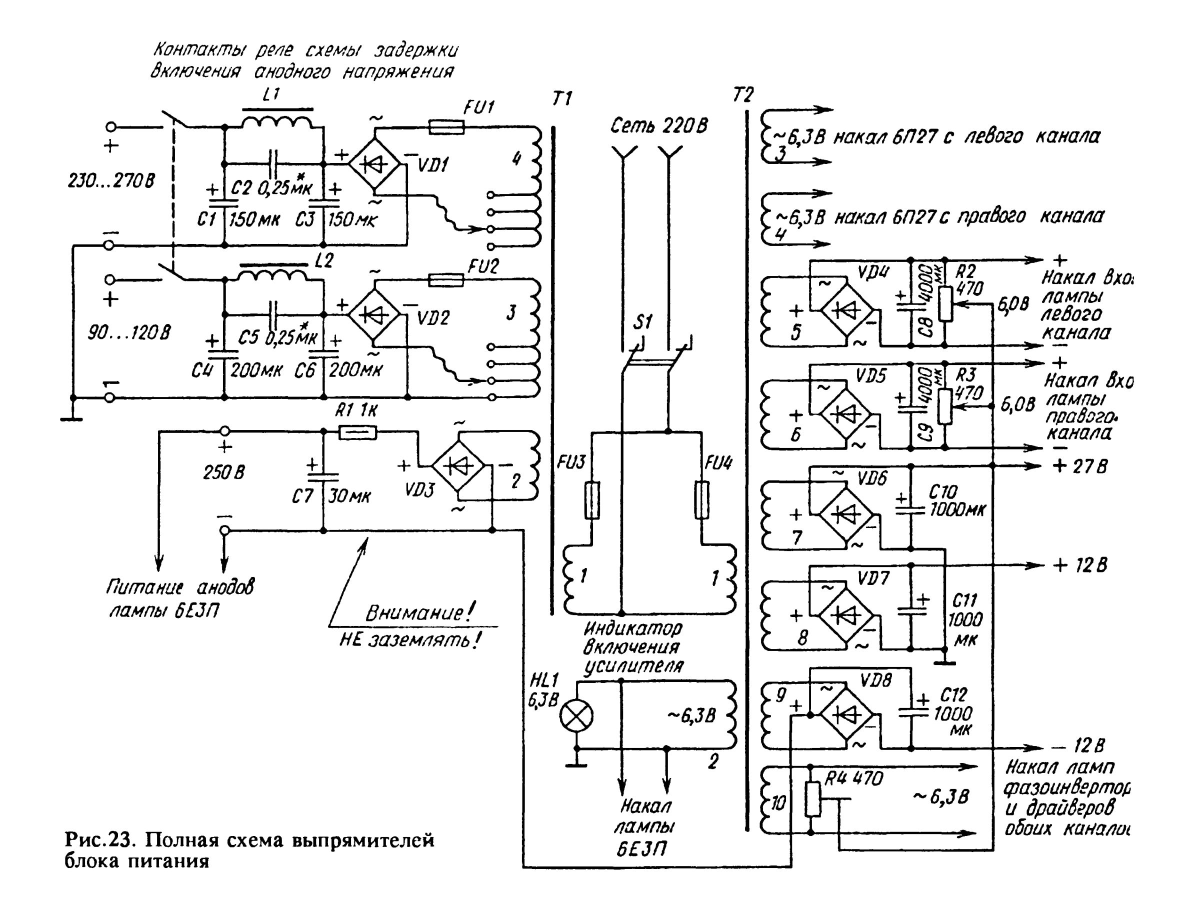


Рис.23. Полная схема выпрямителей блока питания

конденсаторы типа К50-6 на рабочее напряжение 10 или 16 В и емкостью 1000...4000 мкФ.

Для питания компенсационных цепей накалов первых ламп, для работы релейных устройств задержки включения анодного напряжения и точной индикации стереобаланса нам понадобится еще один выпрямитель на напряжение 27 В. Выпрямитель этот маломощный. Его диодный мост можно собрать на любых диодах с обратным напряжением не менее 30 В и прямым током 0,1...0,2 А (например, на диодах КД105 с любой буквой).

И наконец, если вы решите делать блок индикатора точного стереобаланса, понадобится еще один, обязательно отдельный, выпрямитель на 250 В для питания анодов лампы 6Е3П.

Напрашивается вывод: изготовление одного общего силового трансформатора, содержащего около 20 различных обмоток (да к тому же еще и с отводами), дело сложное и трудоемкое. В этом случае разумнее применить два отдельных трансформатора: один - накальный, другой - для всех остальных обмоток. Это удобнее еще и потому, что один трансформатор из-за необходимости иметь большое "окно" для размещения всех обмоток будет слишком громоздким. Найти такой трансформатор в наш век транзисторной техники непросто.

Во втором же случае вполне можно использовать два заводских силовых трансформатора от большинства старых ламповых приемников, радиол, телевизоров, оставив сетевые обмотки и перемотав только вторичные.

БЛОК ВИЗУАЛЬНОЙ ИНДИКАЦИИ ТОЧНОГО СТЕРЕОБАЛАНСА

Для чего может понадобиться такой блок? Ведь практически ни в одном стереоусилителе промышленного производства такого устройства нет. Действительно, во всех усилителях баланс каналов регулируется ручкой регулятора "Балансировка" по фактически воспроизводимой фонограмме либо просто устанавливается в некоторое среднее положение, определяемое наугад или в лучшем случае по метке или риске на передней панели усилителя. В первом случае такая установка баланса представляется условной, поскольку уровни выходных сигналов в обоих каналах непрерывно меняются в такт музыке или речи и непредсказуемо зависят от содержания фонограммы. Во втором случае наличие регулятора вообще не имеет смысла, так как его вполне можно заменить двумя одинаковыми по сопротивлению постоянными резисторами.

Предлагаемое ниже устройство, разработанное автором, позволяет установить (с большой степенью точности) действительный баланс усиления двух каналов по эталонному сигналу. Устройство представляет собой балансно-мостовую схему сравнения двух выходных напряжений с электронно-оптическим индикатором нулевого значения. В качестве индикатора используется радиолампа со светящимся экраном круглой (6Е5С), эллиптической (6Е1П и 6Е2П)

или прямоугольно-щелеобразной формой (6Е3П). У каждой из этих ламп имеется два крайних, предельных состояния: при отсутствии сигнала на сетке светящийся экран (зеленого или голубого цвета) "разрезан" теневым участком клинообразной, веерообразной или прямоугольной конфигурации, а при наличии сигнала (постоянное напряжение отрицательной полярности на сетке лампы) теневой участок отсутствует. При изменении напряжения на сетке от нуля до максимального запирающего значения теневой сектор изменяет свои размеры.

Описываемое устройство работает именно по такому принципу. Рассмотрим схему на рис. 24. Лампа 6Е3П использована в стандартном типовом режиме. Ее светящийся экран (голубого цвета) имеет прямоугольную форму и в зависимости от напряжения на сетке выглядит так, как показано на рис. 25.

В цепь управляющей сетки включен транзистор обязательно *р-п-р* проводимости с достаточно большим коэффициентом усиления (более 50), например МП41А, КТ361Б(Г,Е) или КТ3107Б. Коллектор этого транзистора, гальванически соединенный с управляющей сеткой лампы, питается через резистор R3 достаточно большого сопротивления (47 кОм) от отдельного выпрямителя с напряжением отрицательной полярности 12 В, плюс которого соединен с минусом выпрямителя 250 В, питающего аноды 6Е3П, и катодом самой лампы. Следует обратить особое внимание на то, что выводы +12 В и -250 В, соединенные вместе, ни в коем случае нельзя заземлять на шасси, иначе устройство индикации работать не будет!

На базу транзистора от минуса источника 12 В напряжение не подается, поэтому режим транзистора (открыт он или закрыт) зависит исключительно от того, есть или нет напряжение на выходе диодного моста (VD1-VD4). Если такого напряжения нет (это может

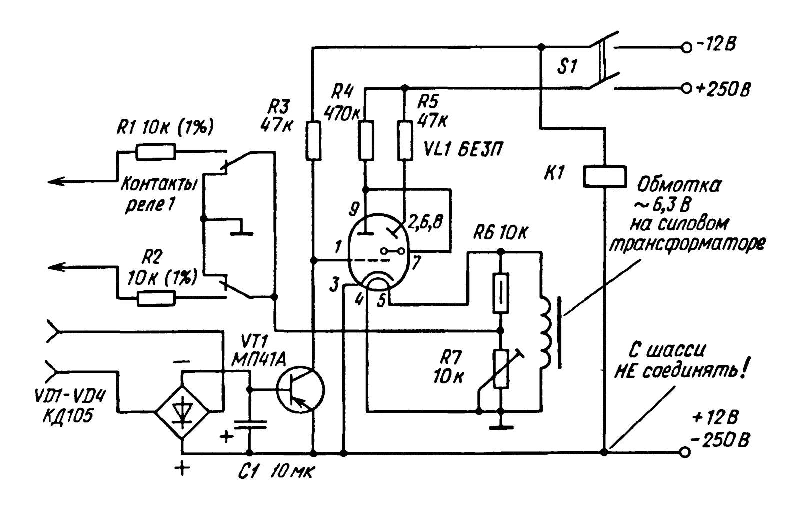


Рис.24. Схема узла индикации точного стереобаланса

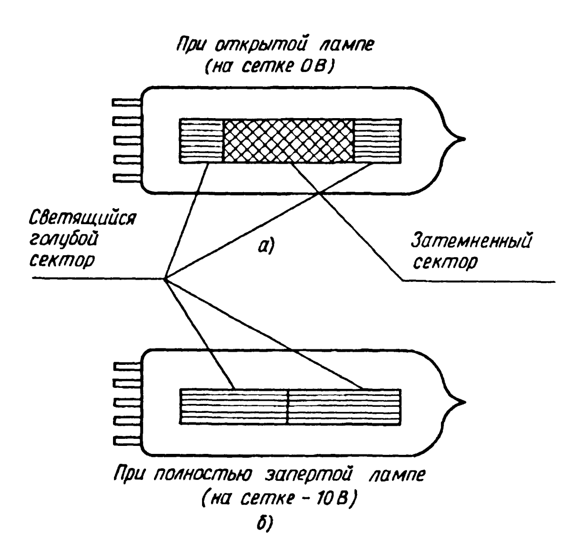


Рис.25. Вид светящегося экрана индикатора стереобаланса в разных режимах

быть только при отсутствии переменного напряжения на его входе), то на базе транзистора также нет напряжения, транзистор полностью закрыт, ток через него не протекает, а следовательно, нет и падения напряжения на резисторе в цепи его коллектора. Это означает, что к сетке лампы 6Е3П приложено полное напряжение -12 В, лампа заперта, у нее отсутствует теневой сектор, и экран выглядит, как на рис. 25,*б*.

Если на входе моста появится любое переменное напряжение, то после его выпрямления на базе транзистора появится отрицательный потенциал, транзистор приоткроется, через резистор R3 потечет ток. На резисторе упадет часть напряжения источника -12 В, и отрицательное напряжение на сетке лампы уменьшится, что приведет к появлению небольшого затемненного сектора на ее экране. Если переменное напряжение на входе моста будет достаточно большим, то отрицательный потенциал на базе полностью откроет транзистор, его коллекторный ток возрастет настолько, что на резисторе R3 упадет почти полностью 12 В. Тогда смещение на сетке лампы окажется близким к нулю, а затемненный сектор станет максимальным (как на рис. 25,*а*).

Дальше все просто. Если соединить выходные обмотки двух стереоканалов (левого и правого) последовательно и в противофазе, а общую точку соединения заземлить, то суммарное напряжение на концах двух обмоток будет равно нулю, если выходные напряжения на обмотках будут одинаковы. Особо подчеркнем: не просто равны какому-то значению, а именно одинаковы (например, на обеих обмотках по 3,1, 5,5 или 8,35 В). Если же на одной из обмоток окажется 4 В, а на другой 6 В, то на концах последовательно соединенных обмоток появится разностное напряжение разбаланса 6 - 4 = 2 В. Если напряжение на одной из обмоток 8 В, а на другой 6 В, то напряжение разбаланса все равно составит 2 В.

Отсюда вытекает важный вывод: разностное напряжение на концах двух обмоток отражает не коэффициент усиления канала и не абсолютную величину выходного напряжения, а именно степень разбаланса двух каналов.

Остальное уже совсем просто: напряжения с выходных обмоток (обязательно в противофазе!) подводятся к диодному мосту схемы индикации. Если эти напряжения равны, то при любой громкости как на входе моста, так и на его выходе будет нуль, и весь экран индикатора будет светиться полностью, без затемненного сектора, что соответствует точному балансу усилений обоих каналов.

При разбалансе усилений в любую сторону на входе моста появится разностное переменное напряжение, что приведет к появлению на экране затемненного сектора, размер которого будет увеличиваться по мере увеличения степени разбаланса.

Так работает индикаторная часть устройства. Но есть еще и сигнальная часть. Дело в том, что при любой реальной стереофонограмме в любой момент даже при идеально установленном стереобалансе выходные напряжения в обоих каналах непрерывно и непредсказуемо изменяются в такт содержанию передачи, поэтому установить точный стереобаланс по любой реальной фонограмме невозможно даже с помощью нашей схемы.

Для того чтобы устранить этот недостаток, реальный звуковой сигнал на время установки баланса заменяется на калиброванный сигнал от специального источника. В качестве источника такого сигнала использована накальная обмотка лампы 6Е3П, один конец которой заземлен, а другой нагружен на потенциометрический делитель, с которого и снимается эталонный сигнал. Этот сигнал уровнем 0...3 В устанавливается резистором R7 и дальше через систему контактов реле К1 и разделительные резисторы R1 и R2 подается на катоды ламп второго каскада предварительного усиления. Для того чтобы напряжения, подводимые к обоим каскадам, были абсолютно одинаковыми, разница в сопротивлениях этих резисторов не должна превышать 1%.

Установить баланс просто. Когда кнопка S1 отпущена, цепи источников напряжения +250 и -12 В разомкнуты. Накал на лампе 6Е3П присутствует постоянно. Из-за отсутствия питающих напряжений экран лампы вообще не светится, реле обесточено и его контакты находятся в положении, показанном на рис. 24, т.е. источник 50 Гц (R7) замкнут на землю, а катоды ламп отключены от узла балансировки.

При нажатии на кнопку оба питающих напряжения подаются на схему, экран лампы начинает сразу же светиться, срабатывает реле и его контакты подключают сигнальную часть схемы к катодам ламп.

Теперь, не отпуская нажатой кнопки (ее нажимают левой рукой), правой рукой вращают регулятор стереобаланса до полного исчезновения затемненного сектора. Вся операция занимает 3...5 с и гарантирует абсолютно точную установку баланса усилений обоих каналов.

Схему можно несколько модифицировать, если сдвоенную кнопку включения (микропереключатель типа КМ-2-1) заменить одноя-

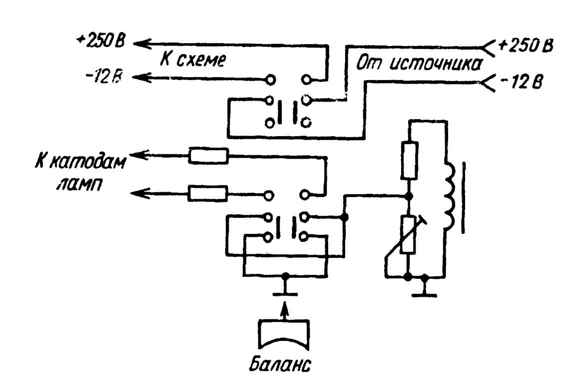


Рис.26. Вариант схемы включения индикатора стереобаланса

чеечным переключателем типа П2К без фиксации нажатого положения с четырьмя коммутирующими группами. В этом случае из схемы можно исключить реле. Схема коммутации этого варианта приведена на рис. 26. Если же радиолюбитель будет собирать схему по основному варианту, то в качестве реле можно использовать РЭС-60 (паспорт 4.569.438), РЭС-9 (паспорт 4.524.201), РЭС-6 (паспорт 0.452.106) или любое другое, желательно малогабаритное, с двумя группами переключения и рабочим напряжением 10...12 В.

БЛОК ИНДИКАЦИИ ПЕРЕГРУЗКИ

В усилителе применено устройство индикации перегрузки, сигнализирующее о превышении уровня выходного сигнала, при котором нелинейные искажения становятся выше допустимых. Схема (см. рис. 27) собрана на двух транзисторах и четырех диодах, в качестве индикаторов перегрузки использованы светодиоды красного цвета, тип которых не имеет значения. Светодиоды установлены на лицевой панели усилителя.

Устройство работает следующим образом: при отсутствии полезного сигнала транзисторы закрыты, ток через них не течет, светодиоды не светятся. Появившийся сигнал (переменное напряжение с выхода усилителя) детектируется диодами VD1 и VD4, выпрямленное напряжение в отрицательной полярности подается на базу транзистора, он открывается, и светодиоды начинают светиться.

Этот процесс происходит описанным образом лишь в том случае, если на базу транзистора через диоды VD2 и VD3 не подается положительный потенциал от отдельного источника питания. И до тех пор, пока это дополнительное запирающее напряжение будет оставаться выше напряжения, выработанного детектором полезного сигнала, транзистор будет оставаться закрытым и светодиоды светиться не будут. И лишь после того, как продетектированный полезный сигнал по уровню превысит этот порог запирания, транзистор откроется и светодиоды начнут светиться.

Дальнейшее увеличение полезного сигнала приведет к увеличению яркости свечения светодиодов, но лишь в небольших

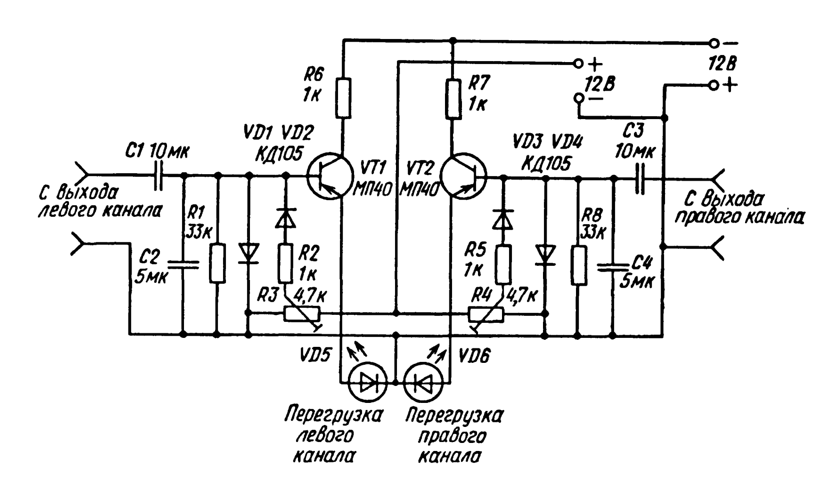


Рис.27. Схема узла индикации перегрузки усилителя

пределах, поскольку максимальный ток через них изначально ограничен резисторами в цепи коллектора транзистора.

Порог срабатывания схемы устанавливается резисторами R3 и R4. О том, как это делается, будет рассказано в разделе "Регулировка усилителя".

СЕРВИСНЫЙ БЛОК

Эта часть схемы прямого отношения к работе усилителя не имеет, она выполняет вспомогательные функции контроля рабочих режимов ламп и выпрямителей. Если радиолюбитель не захочет усложнять и без того не простую конструкцию, этот блок вполне можно исключить безо всякого ущерба для работы усилителя.

По принципу работы сервисный блок очень прост. Это самый обычный стрелочный вольтметр постоянного тока, выполненный на любом миллиамперметре чувствительностью не хуже 50 мА с коммутируемым набором гасящих балластных резисторов, позволяющих измерять постоянные напряжения в диапазоне 1...300 В.

Все остальное составляет схема коммутации, обеспечивающая поочередное подключение к вольтметру тех или иных участков схемы усилителя. Коммутатор имеет два элемента: один трехсекционный переключатель типа П2К, коммутирующий правый и левый каналы и включающий/выключающий измерительную схему, и пятигалетный переключатель на 11 положений, осуществляющий выбор точек измерения.

Измерение напряжений производится прямым подключением вольтметра к той или иной точке схемы через балластный гасящий резистор, сопротивление которого подбирается для каждой точки. Для измерения тока в разрыв соответствующей цепи постоянно

включены калиброванные низкоомные резисторы (1...10 Ом), практически не влияющие на работу лампы. Прямое измерение тока в этом случае заменяется косвенным измерением падения напряжения на этих резисторах.

Прямое цифровое измерение режимов в нашем усилителе заменено оценкой параметра по признаку "норма - не норма", для чего на шкале прибора в ее центральной части закрашен небольшой зеленый сектор, соответствующий 5%-ному отклонению от некоторого среднего значения.

При регулировке и налаживании сервисного блока для каждой отдельной контрольной точки схемы усилителя определяется номинальное значение напряжения относительно шасси или падение напряжения на калиброванном резисторе в цепи протекания тока. Затем переключателем контроля режимов выбирают соответствующее положение (отдельно для левого и правого каналов) и с помощью дополнительного последовательного резистора устанавливают стрелку прибора точно посредине зеленого сектора. Эту операцию проделывают для каждой из 11 контролируемых точек в каждом канале (всего 22 точки).

В дальнейшем в процессе реальной эксплуатации усилителя достаточно последовательно "прощелкать" все 11 положений переключателя и убедиться, что ни в одном из них стрелка прибора не выходит за пределы зеленого сектора. Отклонение стрелки в любую сторону за пределы этого сектора будет свидетельствовать о нарушении режима в данном участке схемы.

Определение дефектного участка схемы в этом случае не составит труда, поскольку каждому положению переключателя соответствует надпись, появляющаяся в светящемся окошке над его ручкой.

В конструкции автора для коммутации применен пятигалетный переключатель на 11 положений типа 11П5НПМ, использовавшийся в свое время в транзисторных радиоприемниках (например, "Сокол-6") и некоторых измерительных приборах. (Разумеется, не обязательно иметь именно такой переключатель.) Он закрепляется с внутренней стороны лицевой панели с помощью специальной широкой переходной скобы, как показано на рис. 28. Через отверстие в лицевой панели пропущена насадка на ось переключателя, и с внутренней стороны на этой насадке закреплена дисковая шкала, разделенная на 11 секторов с соответствующими надписями или символическими изображениями.

Над осью переключателя в лицевой панели пропилено окошко, в котором читается надпись или символ на диске. Надпись подсвечивается лампой подсветки шкалы, питание которой осуществляется от любой накальной обмотки через среднюю группу переключателя каналов.

При нажатой средней кнопке схема измерения режимов отключена, как и лампа подсветки шкалы. При нажатии кнопок "Левый" или "Правый" измерительный вольтметр через галетный переключатель подключается к контрольным точкам соответствующего канала и одновременно загорается лампа подсветки шкалы.

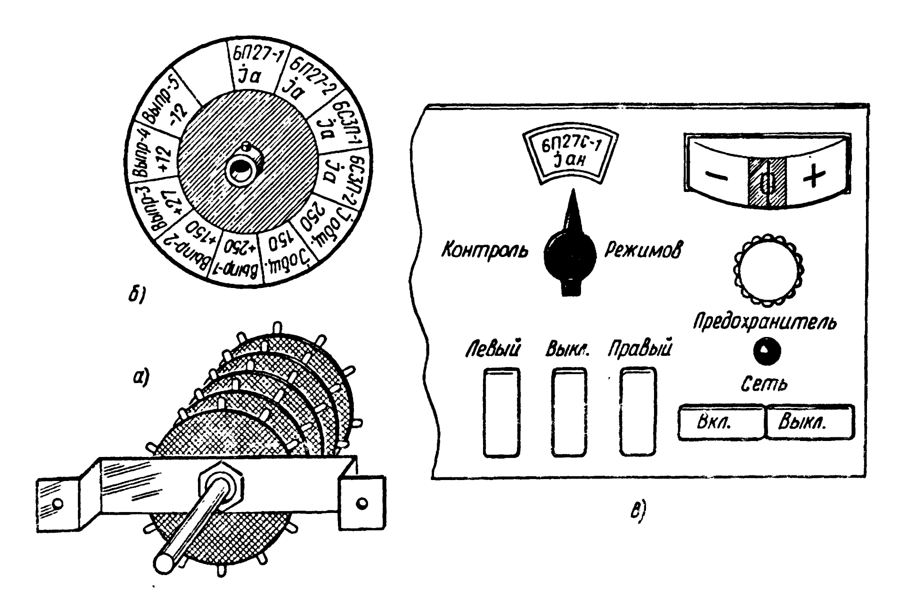


Рис.28. Конструкция узла коммутации схемы сервисного блока и расположение деталей этого узла на лицевой панели

а - переключатель с крепежной скобой; *б* - диск-шкала идентификации точек измерения; *в* - оформление части лицевой панели

Если диск-шкалу выполнить из плексигласа толщиной 3...4 мм и на ней выгравировать соответствующие надписи, то при освещении шкалы "в торец" надписи будут ярко светиться. Лампу можно покрыть цветным цапонлаком.

Показанная на рис. 28,*б* диск-шкала имеет надписи, соответствующие схеме описанного усилителя. Если усилитель будет отличаться составом или типами ламп и числом выпрямителей, то нужно изменить и надписи на шкале.

На том же рисунке справа приведен один из вариантов оформления лицевой панели, если в усилителе есть сервисный блок. (Остальная часть лицевой панели с оперативными органами управления показана на рис. 32.)

И последнее. Мы уже сказали, что установка стрелки вольтметра на середину зеленого сектора шкалы для каждой измеряемой точки схемы осуществляется подбором дополнительного (гасящего) резистора в процессе первичной статической регулировки усилителя. Методика эта предельно проста. Зная чувствительность и внутреннее сопротивление вашего прибора, вычислите или определите опытным путем сопротивление добавочного резистора для напряжения в 1 В, при котором стрелка прибора устанавливается точно посредине зеленого сектора. Допустим, оно окажется равно 10 кОм. Тогда для точки с напряжением в 27 В добавочное сопротивление должно быть 10 x 27 = 270 кОм, а для точки с напряжением 250 В - 2,5 МОм.

Это теория. Практически это можно сделать двумя способами. Первый состоит в том, что сопротивление каждого добавочного резистора заранее точно вычисляют и не менее точно подбирают, после чего его уже устанавливают на измерительную плату. Этот способ достаточно трудоемкий и не обеспечивает точного совпадения положения стрелки в центре зеленого сектора для разных точек измерения даже при очень тщательном подборе гасящих резисторов. Добавим, что все отобранные резисторы должны иметь допуск 1%.

Второй способ состоит в том, что сопротивления гасящих резисторов определяются лишь приблизительно и выбираются заведомо несколько меньшими (например, 82 кОм вместо расчетных 100 кОм), но последовательно с каждым постоянным резистором включается добавочный установочный переменный резистор, с помощью которого и осуществляется точная подгонка положения стрелки прибора в центр шкалы.

Этот способ намного точнее, его применение значительно упрощает процесс регулировки измерительного устройства, но требует применения 22 установочных потенциометров, что невыгодно экономически и требует дополнительного места для их установки. Впрочем, мы уже предупреждали, что для современных ламповых усилителей, да еще и высшего класса, говорить об экономических соображениях просто не имеет смысла.

БЛОК ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ

В разделе "Силовой блок" в общих чертах было упомянуто и о выпрямителях. Рассмотрим их более подробно. Полная принципиальная схема всех выпрямителей и фильтров приведена на рис. 23. Имеет смысл еще раз отметить, что здесь рассматривается вариант без кенотронов, с узлом задержки включения анодного напряжения, выпрямлением напряжения накала для первых (входных) ламп, с дополнительными выпрямителями для систем индикации стереобаланса и перегрузки каналов, с двумя раздельными силовыми трансформаторами (накальным и анодным). На рис. 29 приведена измененная часть полной схемы для варианта с кенотронами, в случае применения которых узел задержки включения анодного напряжения можно исключить.

Эта схема приведена на рис. 30,*а*. Здесь транзисторы VT1 и VT2 типа КТ315 или любые другие с допустимым током коллектора до 100 мА. В коллекторную цепь второго транзистора включено исполнительное реле. В конструкции автора применено реле типа РЭС-22 с четырьмя переключающими группами, для повышения надежности коммутации включенными по две пары параллельно. В принципе выбор типа реле достаточно произволен, лишь бы его контакты были рассчитаны на коммутацию соответствующих напряжений и токов.

В базу первого транзистора включена цепь R2 C1, определяющая время задержки срабатывания реле. Эта схема проста, но она имеет один существенный недостаток: реле находится под током

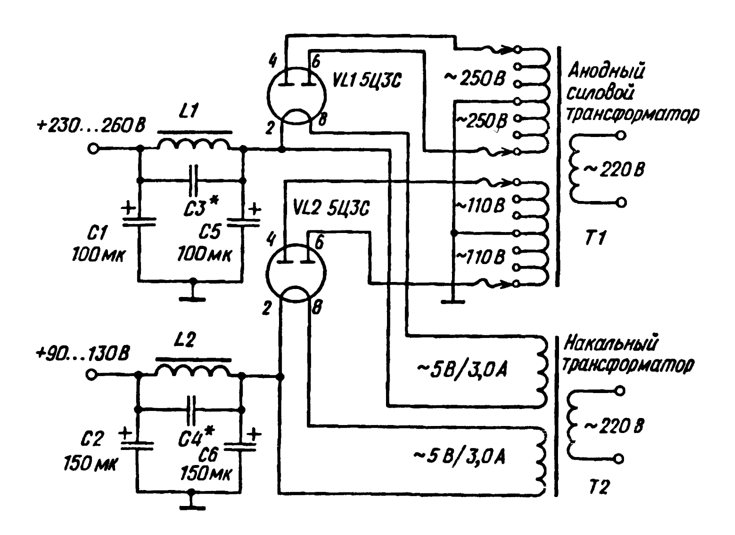


Рис.29. Вариант схемы анодных выпрямителей с использованием кенотронов

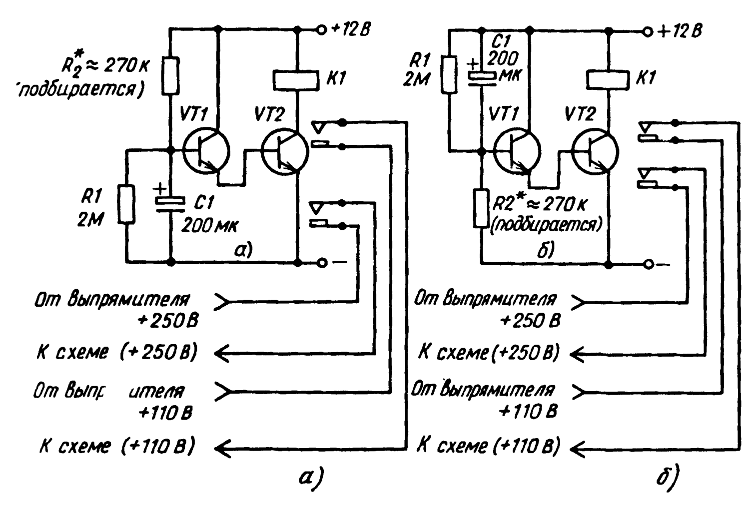


Рис.30. Схема задержки включения анодного напряжения:
а - вариант с постоянно включенным реле; *б* - вариант с отключающимся реле

практически все время работы усилителя, что снижает ее надежность. На рис. 30,*б* приведен другой вариант этой схемы, лишенный указанного недостатка. Здесь нормальное положение обесточенного реле замкнутое. В момент включения усилителя реле срабатывает, размыкая цепи питания анодов ламп, а после зарядки конденсатора С1 транзистор снова закрывается, реле обесточивается и оба анод-

ных выпрямителя подключаются к нагрузке. Время задержки в этой схеме также определяется зарядной емкостью. Выбрать тот или иной вариант схемы предоставляется самому радиолюбителю.

РЕГУЛИРОВКА И НАЛАЖИВАНИЕ

Прежде чем приступить к этой части работы, настоятельно рекомендуем внимательно перечитать раздел "Общая методика регулировки и налаживания", поскольку регулировка любого усилителя, в том числе и этого, должна осуществляться по единой, описанной выше методике. Здесь же поговорим о тех нюансах и особенностях, которые характерны именно для этого усилителя.

Итак, вы закончили сборку и монтаж и собираетесь включить усилитель. Напоминаем, что делать это надо при вынутых лампах и желательно при пониженном напряжении сети. Прежде всего, с помощью вольтметра необходимо убедиться в наличии всех необходимых напряжений как на всех выпрямителях, так и на всех накальных цепях непосредственно на ножках ламповых панелек.

Затем проверяется работоспособность узла задержки включения анодного напряжения и по секундомеру определяется реальное время этой задержки. Оно должно быть в пределах 20...40 с. Если фактическое время окажется иным, его надо изменить подбором емкости и сопротивления в цепи базы транзистора. Только после этого можно вставлять в панельки лампы оконечного каскада.

На время установки статического режима оконечных ламп в разрыв анодной цепи (со стороны трансформатора) должен быть постоянно включен миллиамперметр. Ни при каких обстоятельствах анодный ток не должен превышать половины предельного значения, указанного для этой лампы в табл. 1.

Если в усилителе предусмотрен сервисный блок, то после окончательной установки режимов оконечного каскада нужно подключить все точки измерения этих режимов к соответствующим цепям контроля сервисного блока, подобрать дополнительные резисторы в блоке такими, чтобы стрелка контрольного прибора находилась точно посередине зеленого сектора, и в дальнейшем оценивать режимы оконечного каскада уже с помощью сервисного блока. Аналогично проверяются и устанавливаются режимы всех остальных ламп усилителя.

Напомним, что начиная с этого момента все дальнейшие действия должны производиться только при подключенных к выходам обоих каналов реальных нагрузках или их эквивалентах. Последнее предпочтительнее, поскольку в этом случае работа будет осуществляться в тишине. Учтите, что включение усилителя без нагрузок и подача на вход звукового сигнала могут привести к пробою выходных трансформаторов!

Для начала нажмите на кнопку "Левый" (или "Правый") коммутатора входных сигналов и занимайтесь одним этим каналом (вход второго при этом будет автоматически закорочен). Ручку регулятора громкости установите в максимальное положение, ручку регулятора стереобаланса установите приблизительно в среднее положение,

нажмите кнопку "Концерт" в кланг-регистре и подайте на вход соответствующего канала от звукового генератора очень небольшое (20...30 мВ) напряжение частотой 1000 Гц.

Если в схеме нет ошибок и все предыдущие операции были выполнены в точном соответствии с указаниями раздела "Общая методика регулировки и налаживания", то сигнал будет проходить без искажений через всю схему вплоть до эквивалента нагрузки. Убедиться в этом можно поочередным подключением осциллографа к сеткам и анодам всех ламп, начиная с первой.

Если в каком-то месте схемы сигнала нет, необходимо еще раз самым тщательным образом проверить узел или каскад, где сигнал "потерялся", найти и устранить неисправность (или ошибку в монтаже). Поиск пропавшего сигнала начинайте с проверки положения движков установочных потенциометров, так как чаще всего сигнала нет из-за того, что движок заземлен.

Если сигнал проходит без искажения через весь тракт вплоть до нагрузки, переходите к установке режима фазоинвертора. Прежде всего необходимо добиться, чтобы на сетках обеих ламп драйверного каскада были абсолютно одинаковые по величине переменные напряжения. Это достигается выбором положения движка установочного потенциометра в цепи сетки второго триода фазоинвертора. Напомним, что после каждого изменения положения движка этого потенциометра напряжения на сетках обеих драйверных ламп будет изменяться. В связи с этим необходимо постоянно контролировать оба эти напряжения. Окончательная разница в уровнях двух сигналов не должна превышать 0,5...1%.

Отрегулировав фазоинвертор, проведите такую же регулировку ламп драйверного каскада, добившись абсолютно одинаковых (в пределах 1%) переменных напряжений на сетках оконечных ламп.

Далее в некоторых пределах нужно изменять напряжение на выходе звукового генератора, контролируя при этом напряжения на сетках драйверных и оконечных ламп. При отсутствии неисправностей в схеме и идентичности параметров ламп эти напряжения должны оставаться одинаковыми при разных абсолютных значениях.

Если это так, оставьте осциллограф подключенным к эквиваленту нагрузки и начинайте постепенно увеличивать входной сигнал до появления видимых на экране искажений синусоиды. Как только искажения появились, отключите осциллограф от нагрузки и "пройдитесь" его щупом по всем точкам схемы, начиная от сетки входной лампы, чтобы определить место возникновения искажений. Почти наверняка они появятся либо на входе, либо на выходе драйверного каскада.

Перенесите щуп осциллографа на левый анод лампы фазоинвертора (см. схему на рис. 6) и установите входной сигнал таким, чтобы искажения формы синусоиды только-только появились, после чего уменьшите входной сигнал, но только до момента, когда искажения полностью пропадут. После этого перенесите щуп осциллографа на анод первой драйверной лампы и вращайте движок потенциометра R12 до момента появления искажений, после чего поверните его ось обратно до момента пропадания искажений.

Убедившись после этого в отсутствии искажений на сетке соответствующей оконечной лампы (VL4 на схеме), перенесите щуп осциллографа на ее анод и вращением движка потенциометра R24 добейтесь максимально возможного неискаженного сигнала.

После этого, ничего не изменяя, проделайте точно такую же операцию со второй половиной схемы (лампы VL3 и VL5). В конечном итоге должен получиться результат, при котором увеличение входного сигнала приведет к появлению искажений практически одновременно во всех каскадах, начиная с фазоинвертора.

Оставьте входной сигнал таким (максимально возможным), при котором искажения на нагрузке еще отсутствуют, и с помощью переключателя S1 коммутируйте поочередно секции вторичной обмотки выходного трансформатора для вашей реальной нагрузки (4, 6 или 8 Ом). После каждого переключения максимальное неискаженное выходное напряжение будет иным. Вам нужно выбрать то положение переключателя, которое соответствует наибольшему из них.

Напоминаем, что движок потенциометра R35, с которого снимается напряжение отрицательной обратной связи, должен находиться в заземленном положении, а движок потенциометра в блоке кланг-регистра, с которого снимается сигнал при нажатой кнопке "Концерт", - в положении максимального сигнала.

Если вся регулировка была произведена так, как здесь описано, можно переходить к следующему этапу. В противном случае нужно снова проверить весь монтаж, а также доброкачественность использованных ламп и не продолжать дальнейшую регулировку до обнаружения и устранения причин неполадок.

Следующий этап начинается с определения фазы отрицательной обратной связи. Вторичная обмотка выходного трансформатора выполнена симметричной с заземленной средней точкой, поэтому на одном ее краю фаза обратной связи будет положительной, а на противоположном - отрицательной. Снова подключите осциллограф к нагрузке и при наличии среднего по уровню сигнала немного поверните движок потенциометра R35. Если выходное напряжение при этом уменьшится, значит, фаза обратной связи правильная. Если же сигнал на выходе увеличится или в усилителе возникнет генерация, значит, фазу надо изменить. Для этого провод, идущий к незаземленному краю регулятора, следует перепаять с одного края обмотки на противоположный (они помечены на схеме пятиконечными звездочками) и после чего еще раз убедиться в нормальной работе регулятора.

Установите на входе усилителя номинальный сигнал (100...150 мВ) на частоте 1000 Гц и медленно вращайте движок потенциометра R35. Его оптимальным его положением следует считать такое, при котором неискаженная выходная мощность на нагрузке будет не ниже номинальной (15...20 Вт). Добившись такого результата, нужно заново полностью повторить весь цикл регулировки усилителя (впрочем, не радикально, а лишь с целью коррекции) при уже неизменном положении движка регулятора R35, поскольку влияние обратной связи приводит к некоторому изменению практически всех показателей усилителя.

Закончив регулировку одного из стереоканалов (в положении переключателя "Концерт"), нужно нажать кнопку "Правый" коммутатора входов и произвести такую же регулировку второго канала, предварительно зафиксировав на бумаге уровни сигналов во всех точках схемы первого канала при неизменных уровнях входного сигнала.

Окончательно отрегулированные правый и левый каналы должны быть идентичными по всем параметрам и значениям напряжений сигнала в одинаковых точках схемы при среднем положении регулятора стереобаланса.

Теперь нужно добиться, чтобы при неизменном входном сигнале на частоте 1000 Гц уровень выходного сигнала на нагрузке оставался неизменным при нажатии на любую из трех оставшихся клавиш переключателя кланг-регистра. Для этого необходимо поочередно нажать кнопки "Речь", "Джаз" и "Интим" и вращением соответствующих установочных потенциометров добиться такого же напряжения на нагрузке, как и при нажатой кнопке "Концерт". Если это не получится, можно немного уменьшить уровень сигнала, снимаемого в режиме "Концерт", и снова подрегулировать остальные сигналы. В этом случае после установки четырех одинаковых уровней сигналов может оказаться необходимым скорректировать общую чувствительность усилителя с входа с помощью регулятора отрицательной обратной связи.

На этом регулировку усилителя можно считать законченной, поскольку при отсутствии ошибок в монтаже и исправных деталях работа плавных регуляторов тембра и схемы тонкомпенсации обеспечивается автоматически и регулировки не требуется. Впрочем, убедиться в этом нелишне. Для этого при максимальном положении регулятора громкости на выходе звукового генератора надо установить некоторое фиксированное значение (например, 10 или 5 В) и при выключенном усилителе и вынутой первой лампе измерить напряжение на сетке первой лампы на частотах 20, 40, 60, 100, 200, 400 Гц 1, 2, 3, 5, 8, 10, 12, 15 и 20 кГц, постоянно поддерживая выходное напряжение генератора неизменным.

По полученным значениям на бумаге с логарифмическим масштабом оси частот нужно построить график выходных напряжений в функции от частоты для максимального положения регулятора громкости. После этого, не меняя уровня напряжения генератора, повернуть ось регулятора громкости в сторону уменьшения на 10...15^{o} и снять аналогичную частотную характеристику на тех же частотах. Полученную новую характеристику следует нанести на тот же график в тех же координатах и масштабах.

Это надо проделать несколько раз, каждый раз уменьшая громкость на 10...15^{o}, после чего следует построить семейство характеристик тонкомпенсирующей схемы. Независимо от абсолютной величины выбранного входного напряжения это семейство характеристик должно иметь вид, показанный на графике рис. 31.

Аналогично можно снять и семейство частотных характеристик для различных взаимных положений всех четырех плавных регуляторов тембра. Однако при использовании рекомендованного метода

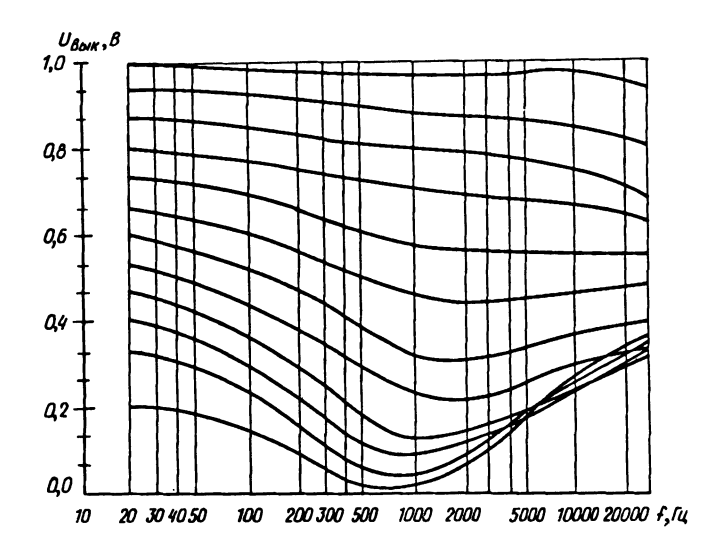


Рис.31. Семейство характеристик тонкомпенсации регулятора громкости

это может занять несколько дней, поэтому можно ограничиться проверкой работоспособности каждого из регуляторов на граничной частоте их участка регулировки, сравнивая максимальный и минимальный уровни сигналов в соответствующих крайних положениях регуляторов. Перепад между уровнями должен быть не менее чем пятикратным (в самом крайнем случае - четырехкратным). Если он намного меньше, надо тщательно проверить правильность монтажа этой части схемы и соответствие номиналов конденсаторов и резисторов.

Теперь можно приступить к налаживанию схемы точной индикации стереобаланса. Для этого вначале убедимся, что при отключенном входном выпрямительном мосте (диоды VD1-VD4 на схеме рис. 24) и нажатой кнопке S1 экран оптического индикатора начинает светиться полностью, без затемненного сектора, а на выходе обоих каналов появляется сигнал частотой 50 Гц (движок потенциометра R7 при этом должен находиться приблизительно в среднем положении).

Временными перемычками нужно замкнуть обе контактные пары кнопки S1 и сравнить фазы выходных сигналов правого и левого каналов. Для этого понадобится обычный тестер, измеряющий переменное напряжение примерно 5 В (ламповый вольтметр с питанием от сети в этом случае непригоден).

Отсоедините от входа усилителя звуковой генератор или отожмите все кнопки входного коммутатора каналов, один щуп тестера подключите к одному из краев выходной обмотки трансформатора левого или правого канала (безразлично к какому), а вторым щупом коснитесь корпуса. Определив значение этого напряжения,

перенесите второй щуп попеременно к двум краям выходной обмотки трансформатора другого канала. В одном случае напряжение окажется вдвое большим, в другом будет близко к нулю. Это второе положение нам и нужно.

Припаяйте провода от входного моста схемы индикации к двум найденным точкам и, наблюдая за экраном индикатора, вращайте ручку регулятора стереобаланса. В одном из ее положений края светящегося экрана полностью сойдутся в середине. Во всех остальных положениях регулятора будет наблюдаться затемненный сектор большей или меньшей величины.

Если весь процесс соответствует описанному, значит, устройство работает нормально, и остается уменьшить сигнал, снимаемый с потенциометра R7 до такого уровня, при котором сигнал на выходе усилителя минимальный, а блок индикации еще работает четко, т.е. затемненный сектор на индикаторе при точном стереобалансе пропадает полностью. После этого временные перемычки с кнопки S1 нужно удалить и убедиться в нормальной работе индикатора при нажатии на кнопку левой рукой и одновременном вращении регулятора стереобаланса в небольших пределах правой.

Наконец, нужно отрегулировать узел индикации перегрузки. Делается это просто. На вход усилителя при нажатой кнопке "Концерт" снова подают сигнал частотой 1000 Гц такого уровня, чтобы на нагрузке получился максимально возможный неискаженный сигнал. После этого движок потенциометра R3 (R4) (см. рис. 27) устанавливают в положение, при котором светодиод полностью погаснет. Сигналы на индикаторы перегрузки снимают обязательно непосредственно с выходных гнезд, к которым подключены акустические агрегаты.

Если теперь незначительно увеличить входной сигнал, светодиоды должны начать светиться, сигнализируя о перегрузке усилителя.

В процессе реальной эксплуатации усилителя следует устанавливать максимальную громкость звучания только до порога срабатывания светодиодов даже в моменты пиковых перегрузок (удары барабана, литавр и т.п.).

Вот, пожалуй, и все, что касается вопросов электрической схемы и налаживания усилителя. А теперь поговорим немного о его конструкции и оформлении.

КОНСТРУКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ УСИЛИТЕЛЯ И ЕГО ОФОРМЛЕНИЕ

В этом разделе рассмотрен один основной вариант, осуществленный автором. Однако сразу же следует оговориться, что вариант этот не единственный и, вполне возможно, далеко не лучший. Поэтому рекомендуем радиолюбителям, взявшимся за изготовление описываемого усилителя, не следовать слепо всем чертежам и эскизам, а подойти к этой работе творчески, оформив усилитель по своему вкусу.

При определении конструкции нужно постоянно помнить об основных принципах построения любого усилителя, о которых уже неоднократно упоминалось.

Самый первый принципиальный вопрос, который следует решить и от решения которого зависят все дальнейшие построения и рассуждения, сводится к определению числа блоков. Здесь всего два пути, но ведут они далеко не в одну сторону. Первый вариант решения - вся конструкция выполняется на одном общем едином шасси. Он имеет, пожалуй, единственное, но весьма существенное достоинство: никаких межблочных соединений и разъемов, являющихся, как правило, скрытыми источниками плохих контактов и больших переходных сопротивлений, минимально возможные внутрисхемные соединения и максимальная жесткость всей конструкции.

Все остальное скорее можно отнести к недостаткам. Это в первую очередь громоздкость и тяжесть конструкции, затрудняющие сборку и особенно регулировку усилителя, а также отсутствие возможности модернизации схемы без коренной переделки уже собранного и отрегулированного усилителя.

Второй путь более технологичен и гибок и состоит, как вы уже поняли, из разделения всей конструкции на несколько отдельных узлов и блоков, собранных на самостоятельных шасси.

В промышленной аппаратуре блочный метод монтажа давно уже вытеснил все другие варианты (речь, разумеется, не идет о простейших малогабаритных приемниках или плеерах), и уже внутри отдельных блоков прочное место заняли съемные модули и субблоки. Но в любительской практике, когда изготавливается всего один аппарат, критерий конвейерной технологичности не является существенным. Поэтому право выбора остается за самим радиолюбителем, а мы рассмотрим лишь один из возможных вариантов блочного исполнения.

К этому вопросу следует подходить с учетом ряда факторов. Один из определяющих - эргономический. Иными словами, еще до начала компоновки нужно точно определиться, будут ли в усилителе применены сервисный блок, блок оптической индикации стереобаланса, схема индикации перегрузки, а также сколько регуляторов тембра (два или четыре) выберет радиолюбитель, будет ли он делать кланг-регистр и т.п.

От ответов на эти вопросы зависит, как будет выглядеть лицевая (оперативная) панель усилителя и каковы будут ее размеры. Если радиолюбитель решит воспроизвести полностью весь описанный выше вариант усилителя, то целесообразно первым считать блок, который условно назовем блоком оперативного управления (БОУ).

Его конструктивной основой служит передняя (лицевая) панель усилителя, на которой, как на основании, закреплены все потенциометры оперативных органов управления, все коммутирующие переключатели, измерительный прибор и галетный переключатель сервисного блока, сетевой выключатель и предохранитель, индикаторы точной установки стереобаланса и перегрузки каналов. На рис. 32 показан вариант такого размещения, осуществленный в авторской конструкции. Разумеется, радиолюбитель сможет скомпоновать эту панель иначе, по своему вкусу.

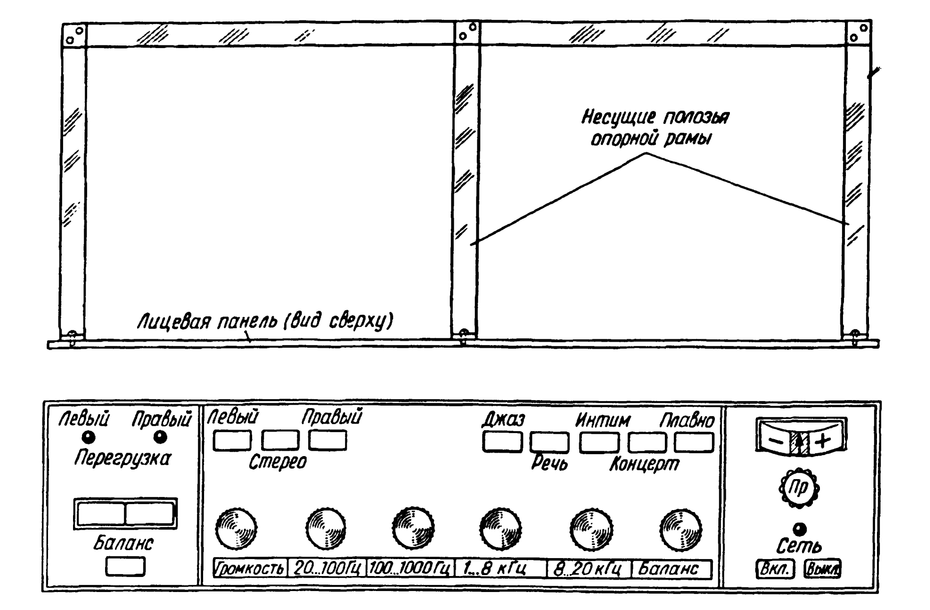


Рис.32. Внешний вид и конструкция одного из вариантов лицевой панели

Все, что расположено на этой панели внутри, целесообразно закрыть одной общей металлической крышкой-кожухом, чтобы получился полностью законченный конструктивный блок. Передняя панель закреплена на трех прочных скобах-салазках из дюралевого "уголка", образующих прочное основание для размещения и закрепления всех остальных блоков.

Всю оставшуюся часть схемы нужно разделить на блоки по принципу оптимальной целесообразности. В авторском варианте автора это сделано следующим образом. Первый из блоков - блок предварительных усилителей (БПУ), объединяющий первые и вторые каскады обоих каналов, - собран на единой общей печатной плате, показанной на рис. 8 и 9.

Рядом с ним размещены сервисный блок (СБ), содержащий все узлы индикации стереобаланса (кроме лампы 6Е3П, размещенной на лицевой панели), детали блока индикации перегрузки и элементы схемы измерения режимов. Эти два блока образуют "второй ряд" позади БОУ.

Третий ряд образуют два полностью идентичных блока оконечных усилителей, выполненные раздельно и включающие лампы фазоинвертора, драйверного и оконечного каскадов, а также выходной трансформатор.

И наконец, четвертый ряд замыкают два блока питания, один из которых - анодно-релейный, другой - накальный. Каждый из них имеет свой силовой трансформатор, диодные мосты, дроссели и конденсаторы фильтров.

Такой вариант компоновки удовлетворяет ряду условий, обязательных для мощных ламповых УЗЧ: вся конструкция симметрична по массе, обеспечивает удобное оперативное управление, межблочные соединения оказываются кратчайшими и совпадают с маршрутом прохождения сигнала, обеспечивается приемлемая схема конвекционного охлаждения и равномерного распределения тепла внутри футляра, паразитные связи и наводки сведены к разумному минимуму.

Остался еще один важный вопрос, решить который радиолюбителю предстоит самостоятельно. Это - форма исполнения монтажа. Для блока предварительных усилителей лучше всего воспользоваться предлагаемым готовым решением и применить печатную плату, приведенную на рис. 8, потому что от конструкции этого узла в значительной мере зависит уровень собственного фона усилителя. Что касается печатных плат всех остальных блоков, то их невозможно предложить заранее, поскольку их размеры, конфигурация и расположение на них деталей и соединительных дорожек полностью зависят от того набора радиоэлементов, которым будет располагать конструктор. И потом, нужно оставить радиолюбителю поле для самостоятельного творчества.

Ну, и самое последнее - это дизайн. Вот уж здесь радиолюбителю предстоит проявить себя полностью. Внешнее оформление - это целиком дело вкуса, тем более что дизайн никак не повлияет на работу и качественные показатели усилителя. Во введении мы говорили о дизайне современных ламповых усилителей ряда западных фирм. Рекомендуем еще раз прочесть эту часть введения и решить, станете ли вы идти этим путем или предпочтете нечто свое, оригинальное.

АВТОНОМНЫЙ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ СТЕРЕОУСИЛИТЕЛЬ-КОММУТАТОР

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА И КОНСТРУКЦИЯ

Описываемый здесь усилитель представляет собой систему, довольно близкую по функциям нынешним усилительно-коммутационным устройствам. Потребность в таком усилителе может возникнуть в двух случаях: если радиолюбитель располагает "активными" электроакустическими агрегатами, содержащими мощный оконечный усилитель с собственным питанием, и если создается полный аудиокомплекс, включающий разные по параметрам выходного сигнала источники - магнитофон, телевизор, проигрыватели с динамической и пьезоголовкой звукоснимателя, лазерные проигрыватели, стереотюнер, линия многопрограммного проводного вещания и т.п.

Этот усилитель был создан именно для такого (второго) случая. С его помощью можно осуществить необходимые коммутации на едином пульте управления и привести самые разнообразные по характеру сигналы к общему знаменателю.

Под этим общим знаменателем подразумевается как нивелирование их уровней, так и частотная коррекция, необходимость в которой возникает при использовании длинных экранированных магистралей от расположенных в разных местах помещения источников.

Прежде чем перейти к описанию усилителя, оговоримся, что все сказанное относится только к одному из двух каналов стереоусилителя, поэтому при сборке усилителя, компоновке его узлов, изготовлении печатных плат или выборе коммутационных узлов нужно помнить, что каналов будет два, и принимать соответствующие решения следует с учетом этого. Это надо учитывать и при выборе или изготовлении силового трансформатора, а также элементов выпрямителя. Кроме того, совершенно недопустимо, чтобы после окончания регулировки все без исключения параметры одного канала отличались от аналогичных параметров другого канала более чем на 1...2%.

Итак, усилитель начинается с 8-позиционного коммутатора (его схема приведена на рис. 33), собранного на переключателе типа П2К и предназначенного для коммутации следующих источников звукового сигнала:

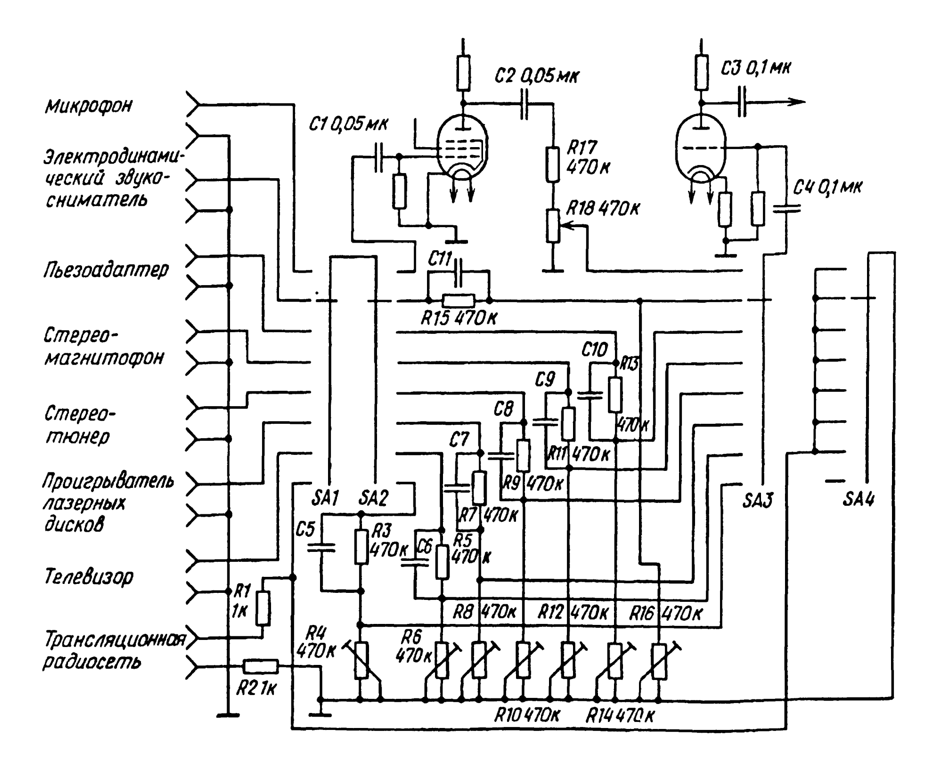


Рис.33. Схема входного коммутатора сигналов

1. Динамический микрофон
2. Динамическая головка стереопроигрывателя.
3. Пьезоголовка стереопроигрывателя.
4. Проигрыватель лазерных дисков.
5. Стереомагнитофон.
6. Стерео-УКВ тюнер или АМ/ЧМ приемник.
7. Телевизор.
8. Трехпрограммная радиотрансляционная сеть.

Подключение источников к коммутатору осуществляется посредством стандартных 5-штырьковых цилиндрических разъемов. Каждый из сигналов (кроме сигнала от микрофона) попадает на свой резистивный делитель, нижнее плечо которого сделано переменным. Резистор верхнего плеча заблокирован конденсатором, назначение которого - скомпенсировать затухание высокочастотной части спектра в длинной линии. Номинальное значение этой емкости подбирается опытным путем, так как потери в линии точному определению не поддаются. О том, как это делается, будет сказано дальше.

Скорректированный сигнал через другую группу контактов подводится к сетке лампы первого каскада двухкаскадного предварительного усилителя напряжения. Здесь же, на входе усилителя, находится тонкомпенсированный регулятор громкости.

Между первым и вторым каскадом включен двухполосный регулятор тембра, регулирующий раздельно участки спектра выше и ниже частоты раздела - 1000 Гц. Этот двухполосный регулятор без каких-либо изменений в схеме можно заменить кланг-регистром и четырехполосным регулятором, примененным в описанном ранее усилителе высшего класса.

Сигнал от микрофона, прежде чем попасть на вход первого каскада, предварительно усиливается дополнительным микрофонным каскадом. Каскад собран на малошумящем пентоде типа EF-86 (полный отечественный аналог - 6Ж32П). Эта лампа в свое время использовалась в некоторых отечественных магнитофонах (например, "Яуза"). Об особенностях монтажа этого каскада далее будет рассказано более подробно.

После усиления вторым каскадом сигнал, снимаемый с анода второго триода, разделяется на два: один поступает на сетку первого оконечного каскада - катодного повторителя, собранного на одной половине двойного триода 6Н6П (VL3 на схеме рис. 34), другой - на сетку лампы дополнительного усилителя напряжения VL2 6С3П или 6С4П, после усиления которой сигнал попадает на вход второго оконечного триода - катодного повторителя VL3 6Н6П. Для экономии общего числа ламп в усилителе допустимо вместо двух ламп 6С3П (или 6С4П) в двух каналах использовать один сдвоенный триод типа 6Н1П - по одному триоду на каждый канал. В этом случае необходимо применить антифонную схему питания накала этой лампы постоянным напряжением с дополнительной подпиткой (+15...25 В), как это было сделано в усилителе высшего класса.

Таким образом, любой входной сигнал, прежде чем попасть на сетку одного из оконечных катодных повторителей, усиливается в одном случае двухкаскадным, в другом - трехкаскадным пред-

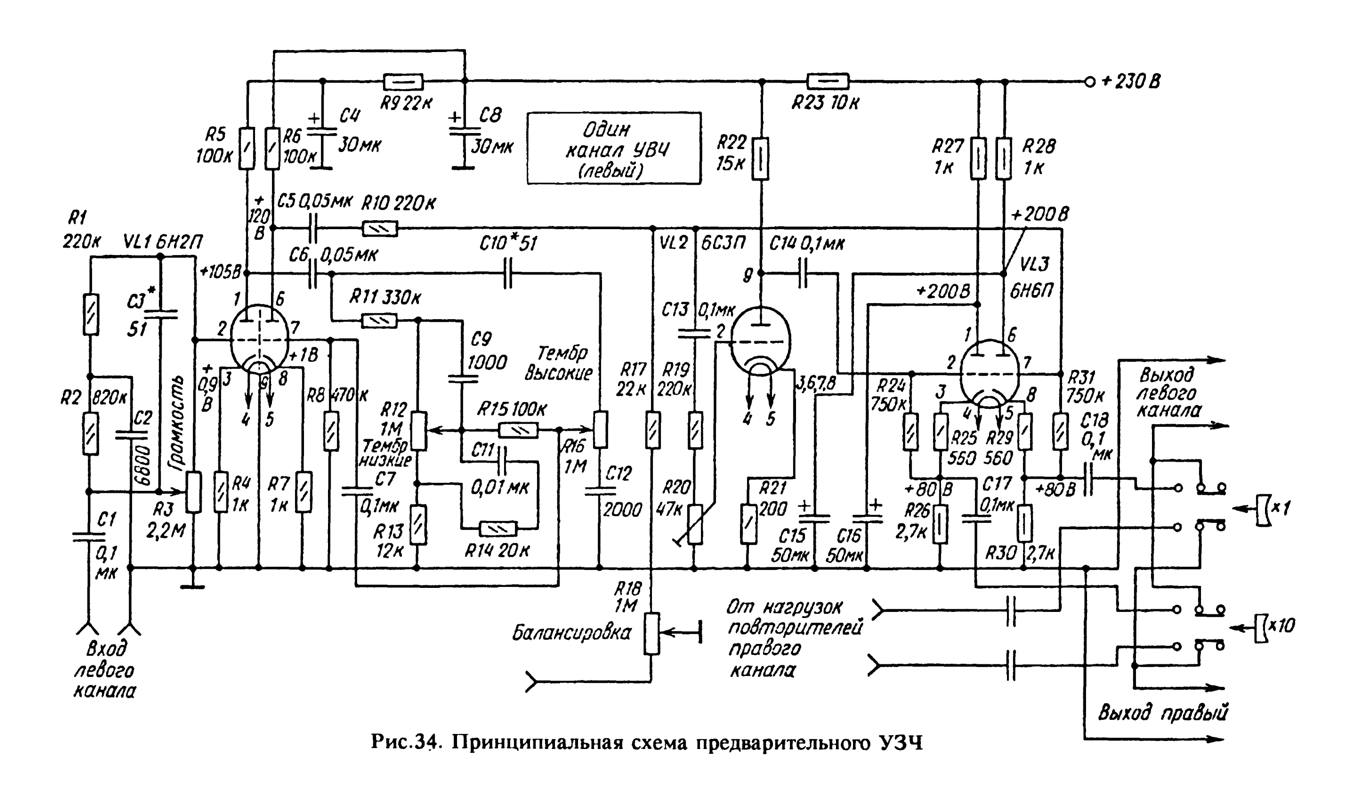


Рис.34. Принципиальная схема предварительного УЗЧ

варительным усилителем. Это делается для того, чтобы иметь возможность простым нажатием кнопки переключателя выходов изменять общий коэффициент усиления нашего УЗЧ в *n* раз, где *n* - реальный коэффициент усиления дополнительного каскада на лампе VL2. В процессе регулировки усилителя его значение выбирают равным 10, 20 или 50 и соответственно две кнопки переключателя *n* маркируют "x1" и "x10" (или 20 или 50).

Выходные каскады собраны по схеме катодных повторителей, обладающих весьма низким выходным сопротивлением. Это нужно для того, чтобы при прохождении сигнала с выхода предварительного УЗЧ до входа мощного оконечного усилителя не возникало дополнительных потерь и искажений высокочастотной части спектра, особенно если соединительные линии достаточно длинные.

Вернемся к дополнительному микрофонному усилителю. Он введен в схему УЗЧ для того, чтобы при желании можно было реализовать довольно модную функцию "караоке", позволяющую осуществлять сольное сопровождение любых фонограмм (с дисков или магнитных носителей). Вместо одного микрофона на входе могут быть включены три, что расширит сольные возможности до хоровых.

Микрофонный каскад имеет собственный независимый регулятор громкости, позволяющий в широких пределах осуществлять микширование своего и сопровождающего музыкальных сигналов. Полная схема этого каскада показана на рис. 35.

Строго говоря, микрофонный каскад не обязательно делать ламповым. Сегодня существуют схемы множества микрофонных усилителей на транзисторах и микросхемах, обладающих прекрасными характеристиками, малошумящих и не имеющих, как ламп-

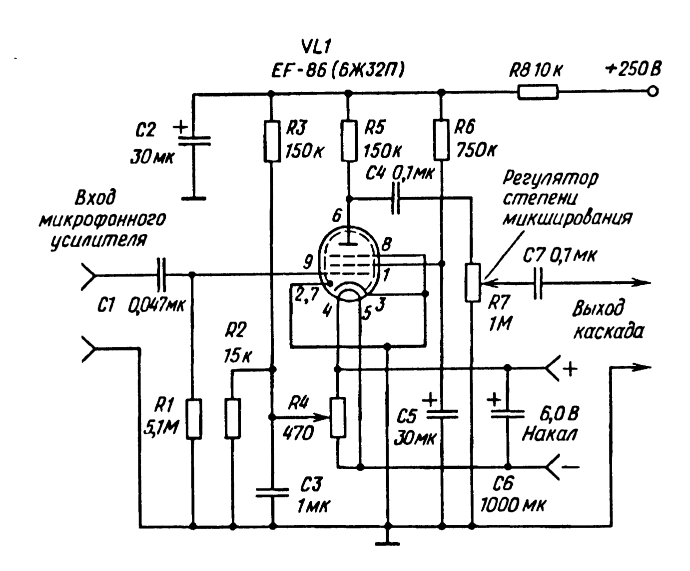


Рис.35. Принципиальная схема микрофонного усилительного каскада

вые, склонности к микрофонному эффекту. Однако их применение повлечет за собой необходимость ввести в общую схему питания дополнительный низковольтный выпрямитель с хорошей фильтрацией, так что в результате общий выигрыш от использования транзисторного микрофонного усилителя может оказаться незначительным или даже нулевым.

И еще одна оговорка. В схеме усилителя предусмотрен вход от радиотрансляционной линии, которая сегодня имеется практически в каждом городе и даже районном центре. В больших городах это вещание многопрограммное и включает стереофонические передачи. Если в вашем городе такое проводное вещание существует, целесообразно ввести в схему усилителя дополнительный узел - декодер трехпрограммного вещания со стереовыходом. Схему такого узла и его конструкцию описывать нет смысла: она стандартная и неоднократно публиковалась (например, в журнале "Радио"). Отметим лишь, что в случае ее применения 8-позиционный переключатель коммутатора входов целесообразно сразу же заменить на 10-позиционный и осуществить коммутацию сигналов от каждого из трех каналов вещания по тому же принципу, что и для одного канала. Для переключения каналов трансляционного вещания можно также ввести дополнительный галетный или кнопочный переключатель на три положения.

Вот, пожалуй, и все, что касается схемы усилителя. Конструктивное его оформление на 100% зависит от того, где и как он будет размещен - в составе музыкального центра, в виде отдельного устройства, на отдельном столике, на полке шкафа или рядом с оконечным усилителем и другой аппаратурой комплекса.

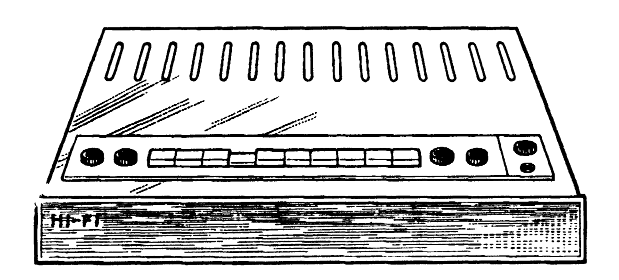


Рис.36. Внешний вид предварительного усилителя

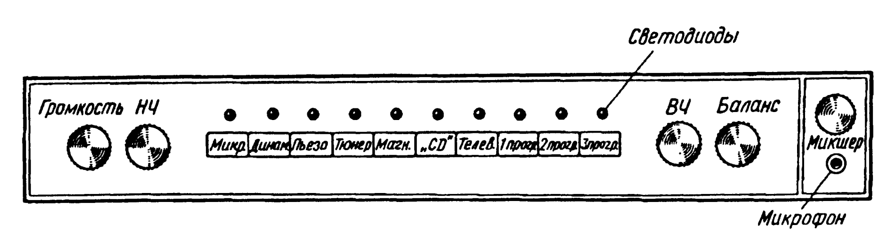


Рис.37. Панель управления предварительного усилителя

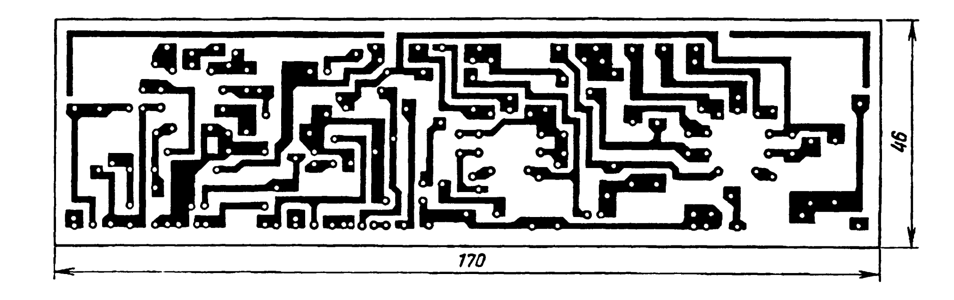


Рис.38. Печатная плата усилителя

Рис.39. Размещение деталей на плате усилителя

Накал
+C4
Накал
+C8
+C16
+ 230В
Накал
+C15
VL1
VL2
VL3
C1 C2 C3 C5 C6 C7 C9 C10 C11 C12 C13 C14 C17 C18
R1 R2 R4 R5 R6 R7 R8 R9 R10 R11 R13 R14 R15 R17 R19 R20 R21 R22 R23 R24 R25 R26 R27 R28 R29 R30 R31
R12
Громкость
Тембр низкие
Тембр высокие
Баланс
От правого канала
Выход левого канала (×10)
Выход левого канала (×1)
Вход левого канала

Приведем один из множества возможных вариантов, при котором усилитель выполнен как автономный узел управления всеми аппаратами аудиокомплекса. В отличие от описанного ранее усилителя высшего класса, данный усилитель достаточно компактный и легкий. В связи с этим пришлось отказаться от горизонтального размещения переключателя-коммутатора на передней лицевой панели, поскольку при нажатии на кнопки-клавиши переключателя возможно перемещение по столу всего блока усилителя.

Переключатель расположен вертикально и размещен на передней части верхней панели усилителя. Там же размещены и все оперативные органы управления - регуляторы громкости, тембра, стереобаланса, микрофонного микшера. Внешний вид усилителя показан на рис. 36, а панель управления - на рис. 37. Усилитель размещен на одной общей печатной плате, приведенной на рис. 38, на рис. 39 показано размещение деталей и элементов схемы на плате.

Силовой трансформатор и детали выпрямителя скомпонованы на основании-каркасе, размеры которого некритичны и должны быть определены самим конструктором исходя из числа коммутируемых источников, наличия или отсутствия микрофонного усилителя, блока-декодера проводного стереовещания и других факторов.

В конструкции автора над каждой кнопкой коммутатора в верхней панели высверлены отверстия, в которые изнутри вставлены светодиоды красного цвета, подключающиеся при нажатии соответствующей кнопки к источнику напряжения 12 В и сигнализирующие о подключении к усилителю того или иного аппарата. На схеме усилителя эта система не отображена, поскольку формально никакого отношения к нему не имеет. При желании любой радиолюбитель без труда выполнит ее самостоятельно.

РЕГУЛИРОВКА И НАЛАЖИВАНИЕ

Рассмотрим регулировку усилителя. Сначала при вынутых лампах проверяется работа выпрямителей и наличие напряжений на электродах всех ламп, включая цепи накала. Если с этим все в порядке, все лампы устанавливают на места и после прогрева ламп (около 1 мин) проверяют установившиеся значения напряжений на анодах и катодах всех ламп, а также на экранирующей сетке лампы микрофонного каскада. Эти значения не должны отличаться от указанных на схеме более чем на 5...10%.

После этого на сетку лампы VL1 (рис. 34) от звукового генератора подают сигнал частотой 1000 Гц небольшого уровня (20...50 мВ). Это сделано для того, чтобы на выходе первого катодного повторителя установилось любое удобное для отсчета напряжение (например, 0,1 или 0,5 или 1 В). Затем вольтметр переключают с выхода первого катодного повторителя на выход второго, декадным переключателем на выходе звукового генератора уменьшают выходное напряжение в 10, 20 или 50 раз, не трогая при этом ручку плавного регулятора выходного напряжения, и вращением установочного потенциометра R20 на выходе второго повторителя добиваются того

же выходного напряжения, что и на выходе первого повторителя. После регулировки , не меняя уровня входного сигнала, убедитесь, что выходные сигналы на обоих повторителях различаются точно в выбранное вами число раз (10, 20 или 50), обозначение которого нанесите краской, гравировкой или декалькоманией на кнопки переключателя выходов: "x1" и "x10" (или соответственно "x20" либо "x50").

Покончив с этим, переходите к основной части регулировки - нивелированию уровней сигналов от различных источников и коррекции частотной характеристики соединительных линий. Методика такой регулировки зависит в значительной мере от того, сумеете ли вы на время этой работы заполучить (приобрести, взять напрокат, переписать) стандартизованные источники звуковых сигналов.

Такими источниками на предприятиях, занятых выпуском, ремонтом или эксплуатацией звуковоспроизводящей аппаратуры, а также на радиоцентрах и в домах (студиях) звукозаписи являются тест-пластинки и магнитные тест-фильмы (на кассетах), на которых вместо музыкальных программ с соблюдением требований ГОСТ записаны чистые тона полного частотного ряда звукового спектра от 20 Гц до 20 кГц. Каждая из этих частот воспроизводится реальным источником в течение 20...30 с. За это время надо успеть произвести измерение напряжений на выходе (или входе) усилителя и записать эти значения, после чего по ним построить график частотной характеристики.

Этот способ - самый точный и достоверный, так как учитывает степень влияния на общую характеристику всех элементов тракта звуковоспроизведения.

Если вам не удастся приобрести тест-пластинки или тест-фильмы, придется воспользоваться вторым методом, хотя и не таким точным, но зато вполне доступным. Состоит он в том, что вместо тест-пластинок и тест-фильмов используется все тот же звуковой генератор.

Перед началом регулировки нужно установить регуляторы тембра в положение, соответствующее линейной частотной характеристике. Для этого вначале оба регулятора тембра устанавливают приблизительно в среднее положение. Регулятор громкости при этой и всех последующих операциях должен находиться в положении максимальной громкости (до конца по часовой стрелке), а регулятор стереобаланса - в среднем положении.

На вход усилителя подают сигнал частотой 1000 Гц небольшого уровня, чтобы на выходе усилителя установилось удобное для измерения напряжение (например, 0,5 В). Затем, поддерживая напряжение генератора неизменным, переключают частоту на 100 Гц и вращением регулятора нижних частот добиваются на выходе такого же напряжения, что и при частоте 1000 Гц. После этого аналогичным образом уточняют положение регулятора верхних частот, но уже на частоте 10000 Гц. В довершение желательно "пройтись" по всему спектру от 20 Гц до 20 кГц, чтобы убедиться, что выходное напряжение сохраняется относительно равным на всех частотах внутри спектра.

Установив все регуляторы в нужное положение, приступают к регулировке коммутационной части усилителя, которую лучше всего начинать с источника с наименьшим выходным напряжением (исключая микрофон). В нашем перечне таким источником, скорее всего, является электродинамическая головка звукоснимателя проигрывателя обычных (не лазерных) дисков.

Нажмите на коммутаторе сигналов кнопку "Динамическая головка" и отнесите звуковой генератор туда, где расположен проигрыватель грампластинок. Сигнал от генератора нужно подавать непосредственно в начало кабеля или экранированной линии, соединяющей проигрыватель с нашим усилителем. Еще раз подчеркнем: не на вход усилителя, а на выход звукоснимателя, чтобы, между генератором и усилителем оказался целиком весь соединительный кабель. И еще одно очень важное напоминание: выходное сопротивление генератора должно быть равно (или иметь один порядок) внутреннему сопротивлению источника. Это значит, что если внутреннее сопротивление динамической головки звукоснимателя составляет несколько сотен ом, то переключатель выходного сопротивления генератора должен быть установлен в положение, наиболее близкое к внутреннему сопротивлению источника. Если источником сигнала является пьезоголовка звукоснимателя, имеющая внутреннее сопротивление примерно 0,5 МОм, то между выходом генератора и началом соединительной линии нужно последовательно включить постоянный резистор такого же сопротивления.

Чтобы было легче ориентироваться в выходных сопротивлениях различных источников сигнала, в табл. 2 приведены их общепринятые стандартизованные значения. В ней же даны усредненные значения выходных напряжений этих источников на частоте 1000 Гц.

Теперь подайте на вход соединительной линии (при отключенной головке звукоснимателя!) сигнал частотой 1000 Гц такого уровня, который является номинальным для данного источника (табл. 2), подключите к выходу первого катодного повторителя ("x1") ламповый вольтметр и вращайте движок установочного потенциометра R16 (на схеме рис. 33) до получения на выходе некоторого напряжения, принятого за номинальное, скажем, 0,5 или 1 В.

После этого при неизменном уровне сигнала от генератора переключите частоту, равную 10 кГц. Это обязательно приведет к некоторому снижению уровня сигнала на выходе, если, конечно, вы правильно установили регуляторы тембра и громкости. Для того чтобы восстановить сигнал с частотой 10 кГц до прежнего уровня, придется экспериментальным путем подобрать емкость конденсатора C11, включенного параллельно резистору R15 . На этом регулировку первой из восьми (или десяти) линий можно считать законченной. Аналогично регулируется следующий канал (в нашем случае - пьезозвукосниматель), но теперь на входе линии устанавливается другой уровень сигнала и другой последовательный согласующий резистор в соответствии с таблицей для данного источника. В то же время уровень выходного сигнала на первом катодном повторителе должен сохраняться неизменным для всех источников, что достига-

Таблица 2. *Значения типовых выходных параметров различных источников низкочастотных сигналов*

Устройство	Входное напряжение			Входное сопротивление, кОм	Выходное напряжение			Выходное сопротивление, кОм
	минимальное	номинальное	максимальное		минимальное	номинальное	максимальное	
Магнитофон	0,2 В	0,5 В	2 В	220		0,5 В	2 В	22
Тюнер	—	—	—	—		0,5 В	2 В	22
ЭПУ с магнитной головкой	2 мВ	5 мВ	20 мВ	47	—	—	—	—
ЭПУ с пьезоголовкой	0,2 В	0,5 В	2 В	470	—	—	—	—
Предварительный усилитель	—	—	—	220		0,5 В	1 В	Не нормировано
Мощный оконечный усилитель		1 В		От 10 и выше				Не более 5 Ом

ется регулировкой установочных потенциометров и подбором емкостей компенсационных конденсаторов.

Если все регулировки выполнены в соответствии с приведенными рекомендациями и полученные данные совпали с номинальными, регулировку одного канала можно считать законченной. Убедиться в этом проще всего, подключив выход нашего УЗЧ к входу любого оконечного усилителя с акустической системой (вплоть до "адаптерного" входа обычного радиоприемника, если таковой имеется), и при некоторой средней громкости звучания поочередно с помощью переключателя коммутатора подавая на вход реальные фонограммы от всех коммутируемых источников. При этом громкость звучания на слух должна восприниматься относительно одинаковой, с незначительными отклонениями, определяемыми сюжетом фонограмм. Если же сигнал одного из источников по громкости звучания отличается от остальных или обнаруживает явный "завал" характеристики со стороны верхних частот, следует еще раз вернуться к регулировке именно этого конкретного канала. Не исключено, что в процессе регулировки вы пропустили именно этот канал или подавали сигнал от этого источника "не в свою" линию.

Вернемся к микрофонному каскаду. Если он выполнен на лампе, постарайтесь по возможности приобрести лампу EF-86 производства любой европейской страны (ФРГ, ЧССР, Польши) или США. Она выпускалась многими фирмами под различными торговыми названиями: EF-86, E-7027, E-7108, EF-806S, EF-866, Z-729, 6BK8, 5928, 6267. Что касается отечественного аналога 6Ж32П, он значительно уступает западным лампам, по крайней мере по двум весьма существенным параметрам: уровню собственного фона из

цепи накала и склонности к микрофонному эффекту. И если первый еще можно устранить, осуществляя питание накала лампы хорошо отфильтрованным постоянным напряжением, то для предотвращения микрофонного эффекта не обойтись без "мягкой" подвески лампы (вместе с панелькой) на кольцевой резиновой прокладке-демпфере.

Для того чтобы предельно уменьшить возможность возникновения фона из цепи накала, микрофонный усилитель, как правило, делают с заземленным катодом, а автоматическое смещение в этом случае достигается за счет незначительного сеточного тока при наличии сигнала. Именно для этого сопротивление резистора утечки сетки выбирают весьма большим (в нашем случае 5,1 МОм). Это не приводит к заметным нелинейным искажениям, если уровень входного сигнала достаточно мал.

Электрический режим лампы микрофонного каскада наименее критичен, поскольку уровни входных сигналов от микрофона весьма малы, и анодный ток при любых обстоятельствах не выходит за пределы линейного участка анодно-сеточной характеристики в верхней ее части.

Впрочем, если при налаживании усилителя вы услышите искажения при работе от микрофона, не помешает снять "по точкам" динамическую характеристику каскада и при необходимости изменить положение рабочей точки подбором сопротивления резистора утечки сетки или резистора в цепи экранирующей сетки. Поскольку отечественные резисторы больших номиналов склонны со временем "терять" свое сопротивление чуть ли не до бесконечного, рекомендуем вместо одного резистора 5,1 МОм в цепи сетки лампы установить два параллельно соединенных резистора сопротивлениями по 10 МОм.

И наконец, о коммуникациях. Вопрос этот достаточно серьезный, поскольку речь идет о длинных соединительных линиях, подверженных различным внешним наводкам (например, от проходящей параллельно линии силовой сети с напряжением 220 В). Кроме того, мы имеем дело с передачей сигналов весьма низкого уровня (5...200 мВ) и к тому же от источников с большим внутренним сопротивлением (до сотен килоом).

Эти два фактора требуют применения специальных мер для предотвращения наводок и наложений на полезный сигнал извне и для исключения взаимного влияния линий от разных источников. Положение усугубляется тем, что разные источники сигнала требуют разных схемных решений. Постараемся дать рекомендации для каждого отдельного случая.

Наиболее уязвимы три линии: от динамической головки звукоснимателя, пьезозвукоснимателя и микрофона. Для этих трех источников можно предложить одно общее решение: возьмите тонкий коаксиальный кабель (например, типов РК-50-2-13 (старое наименование РК-19), РК-50-3-13 (РК-55), РК-50-2-21 (РКТФ-91) или РК-75-2-21 с наружным диаметром 4...5 мм и погонной емкостью 70...115 пФ/м) двойной длины (для каждого из коммутируемых источников, кроме микрофона) и поместите два отрезка кабеля нужной длины в одну общую металлическую оплетку, как показано на рис.40.

Желательно, чтобы эта общая оплетка также была изолирована, для чего лучше всего всю заготовку протянуть в хлорвиниловую трубку. Чтобы максимально облегчить этот процесс, трубку можно нарезать на несколько частей длиной по 0,5...1 м и надевать их поочередно.

Распайку кабелей со стороны источников и со стороны входа усилителя надо делать так, как показано на рис. 41. Для микрофона, поскольку он наверняка будет монофонический, нет необходимости в двух отдельных кабелях, однако использовать оплетку кабеля в качестве другого (нулевого) провода здесь недопустимо из-за неизбежного возникновения фона. Для микрофонной линии, если она больше 1 м, придется изготовить самодельный кабель из двух отдельных проводов - сигнального и нулевого, которые следует поместить в общую экранирующую оплетку. Подключение обоих проводов и оплетки видно из рис. 40.

Соединительные линии для стереотюнера, стереомагнитофона и стереопроигрывателя лазерных дисков также можно сделать однотипными, но несколько иными. Здесь в одну общую экранирующую оплетку надо протянуть три разноцветных провода: два сигнальных для левого и правого каналов (например, зеленый и синий) и один более толстый (черный или белый) для общей "земли". Этот кабель вместе с оплеткой желательно поместить в хлорвиниловый чулок.

Сигнал от телевизора можно передавать по обычному стандартному одиночному коаксиальному кабелю, используя его оплетку в качестве нулевого провода, поскольку уровень собственного фона самого телевизора не позволяет говорить о действительно высококачественном звуковоспроизведении. Следует иметь в виду, что сигнал звукового сопровождения можно снимать как с выхода УЗЧ те-

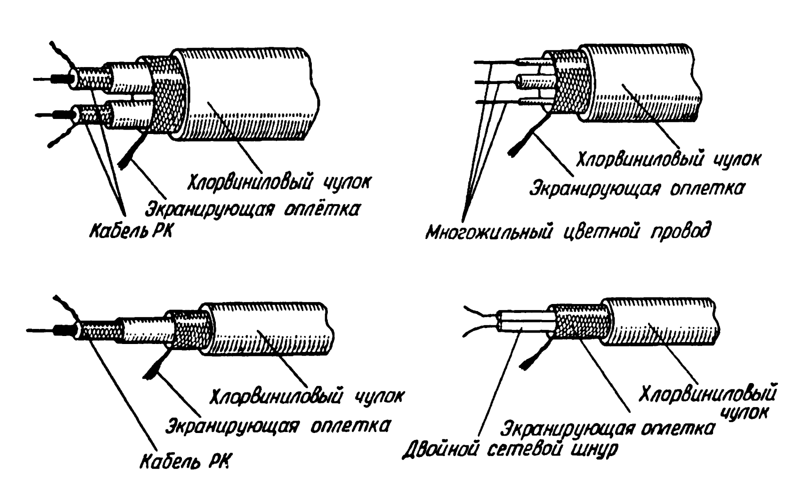


Рис.40. Конструкция соединительных шлангов (длинных линий) для сигнальных коммуникаций аудиокомплекса

левизора (с зажимов громкоговорителя), так и с нагрузки частотного детектора. В первом случае мы будем иметь дело с низкоомным выходом (единицы ом), и, следовательно, соединительный кабель практически не будет подвержен воздействию внешних наводок и не создаст дополнительных потерь высокочастотной части спектра.

При этом, во-первых, уровень выходного сигнала будет полностью зависеть от положения регулятора громкости телевизора и, во-вторых, нельзя будет воспроизводить звук только через усилитель, без обязательного звучания самого телевизора. Кроме того, в этом случае мы получим сигнал уже предварительно искаженный низкочастотным усилителем телевизора, не отличающимся, как правило, высоким классом.

Лучше воспользоваться вторым способом и снимать сигнал непосредственно с выхода частотного детектора. Для этого придется подвести сигнал от детектора к дополнительному разъему, установить который можно на несущей раме телевизора или в крайнем случае на съемной задней стенке. К этому разъему с помощью штек-

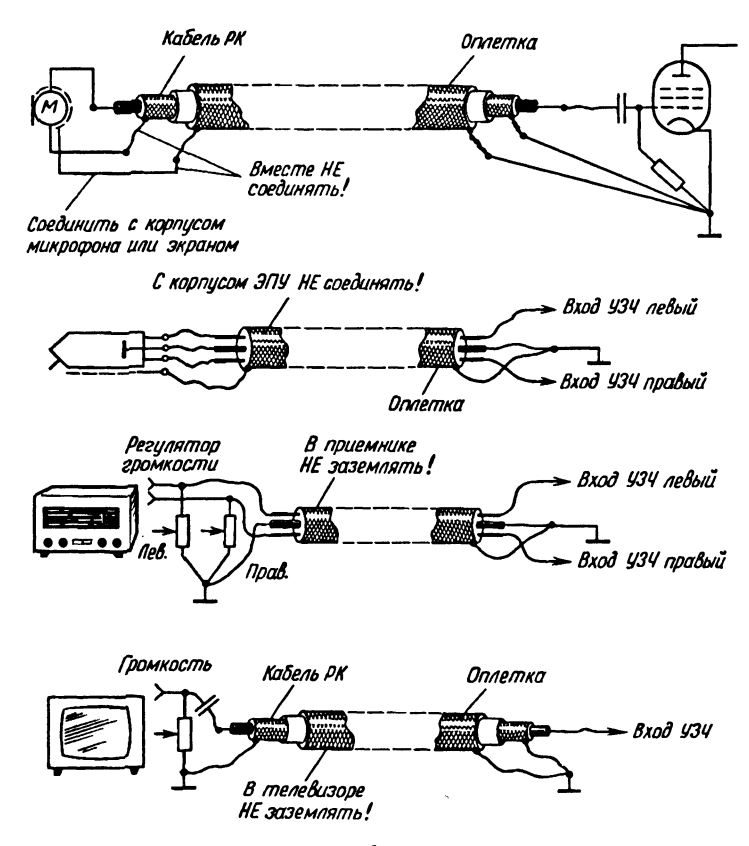


Рис.41. Распайка коммуникационных кабелей со стороны входа и выхода

кера подключить соединительную линию. В этом случае соединительную линию также надо сделать экранированной, с двумя раздельными проводами.

И наконец, о последней соединительной линии - от радиотрансляционной сети. Особенности этой линии определяются двумя факторами. Первый состоит в том, что внутри жилого помещения ни один из двух проводов не является "нулевым" - оба они равнозначны и каждый из них можно считать сигнальным. Поэтому в коммутаторе в цепь каждого из двух проводов (в том числе и того, который у нас заземлен) включены последовательно балластные резисторы (R1 и R2 на схеме рис. 33). В данном случае потерей сигнала можно пренебречь, поскольку уровень сигнала в линии на один-два порядка больше, чем от остальных источников. Именно поэтому в переключателе коммутатора предусмотрена дополнительная группа контактов, "заземляющая" сигнал от трансляционной линии во всех положениях, кроме последнего восьмого (или трех последних, если всего их десять), во избежание заметных наводок трансляционной программы при работе от других источников.

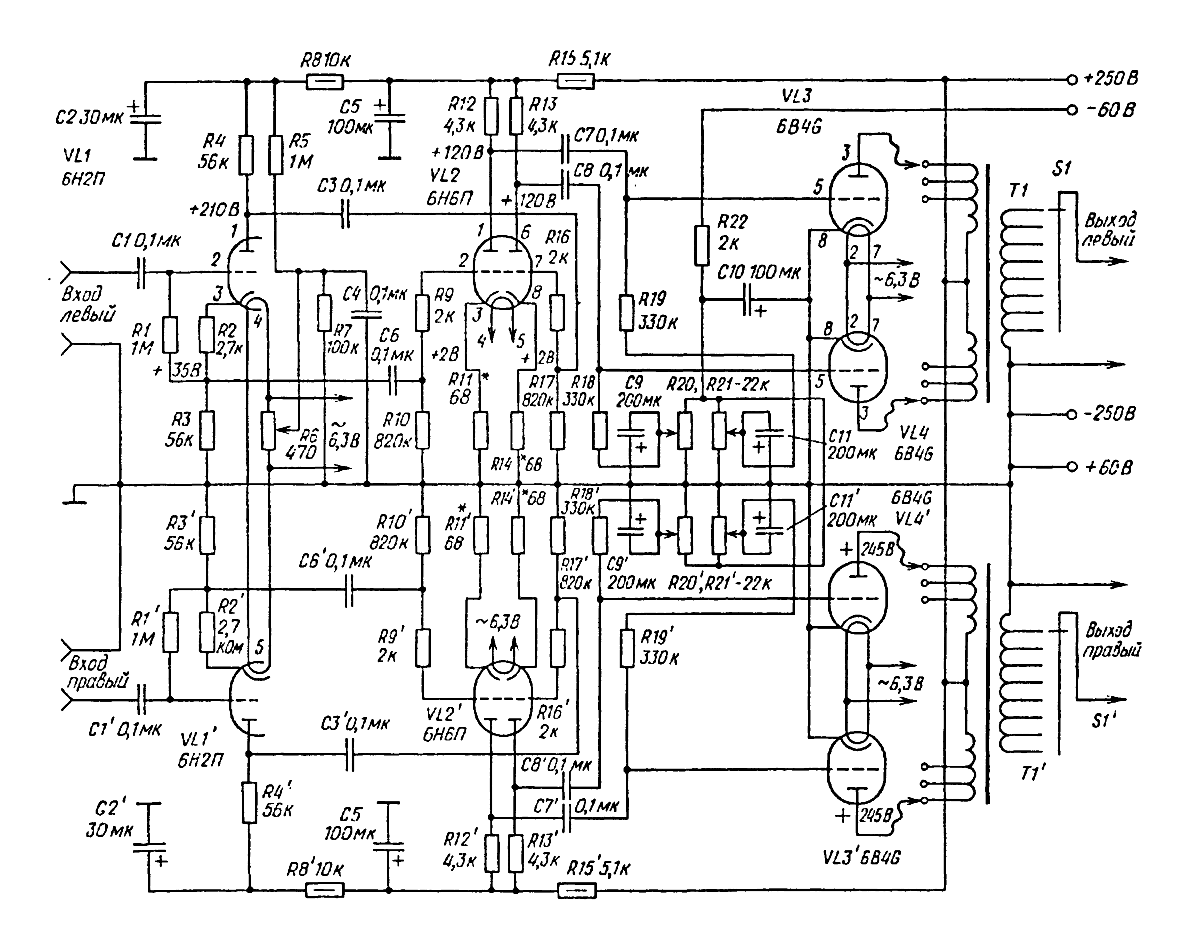
Второе соображение имеет значение только в том случае, если трансляционная линия многопрограммная. Как известно, сигналы дополнительных каналов передаются на достаточно высоких ультразвуковых частотах (19 и 38 кГц), что делает весьма существенными емкостные потери в дополнительной соединительной линии. Именно поэтому трансляционную линию лучше выполнить не экранированной, а использовать для нее обычный тонкий двойной сетевой провод в хлорвиниловой изоляции или телефонный провод (но только обязательно многожильный, поскольку одножильный легко и быстро обламывается). Чтобы исключить заметные наводки этой линии на все остальные, ее желательно вести не в общем пучке с остальными линиями, а отдельно и на некотором расстоянии от других.

ОКОНЕЧНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ МОЩНОСТЬЮ 40 Вт

Оконечный усилитель - трехкаскадный, с трансформаторным выходом, одноканальный, однополосный, без встроенных регулировок уровня сигнала и формы частотной характеристики, с изменяемым коэффициентом трансформации под широкий диапазон нагрузок (от 2 до 16 Ом). Оконечный каскад выполнен на двух мощных триодах типа 6В4G по классической двухтактной схеме в режиме класса А (рис. 42).

Начинается усилитель с фазоинвертора на одном триоде лампы VL1 типа 6Н2П (второй триод используется в аналогичном каскаде другого канала, если усилитель выполнен в стереофоническом варианте) по схеме с разделенными нагрузками. Инверсные сигналы снимаются из анодной и катодной цепей лампы и подаются на две сетки двойного триода VL2 типа 6Н6П, работающего также в классе А в качестве предоконечного усилителя (драйвера).

Рис.42. Схема мощного оконечного усилителя на триодах



Лампы оконечного каскада работают в режиме класса А с фиксированным смещением от отдельного выпрямителя на 60 В. Сделано это отчасти из-за того, что номинальное напряжение смещения для триодов такого типа составляет -45...-50 В, и при автоматическом смещении такое же напряжение будет падать на катодном резисторе, т.е. по существу вычитаться из напряжения анодного питания. Для компенсации этой потери пришлось бы на те же 50 В увеличивать напряжение источника анодного питания и соответственно рабочее напряжение конденсаторов фильтра выпрямителя, что крайне нежелательно.

Кроме того, при напряжении 50 В и токе 100 мА на каждом резисторе в катоде будет бесполезно рассеиваться 5 Вт мощности, а в двух плечах пушпулла - 10 Вт. Если же усилитель стереофонический, теряемая мощность возрастает до 20 Вт, что уже соизмеримо с полезной выходной мощностью усилителя.

Резистор в катодной цепи является источником негативной обратной связи по току, уменьшающей фактическую чувствительность лампы по входу на величину, близкую к падению напряжения на резисторе, поэтому для нормальной раскачки оконечного каскада понадобилось бы снимать с нагрузок драйвера сигнал уровнем почти 90 В, что нереально.

Если же устранить действие отрицательной обратной связи путем блокирования катодных резисторов конденсаторами большой емкости, значение этой емкости необходимо взять таким, чтобы реактивное сопротивление конденсатора на самой нижней частоте диапазона (в нашем случае это 20 Гц) составляло не более 1% от сопротивления резистора. Элементарный расчет дает значение около 1600 мкФ. Ближайшее по ГОСТ значение будет 2000 мкФ при рабочем напряжении не менее 50 В. И если учесть, что таких конденсаторов понадобится четыре, выбор оказывается в пользу фиксированного смещения от отдельного источника.

Оба триода драйверного каскада, напротив, охвачены глубокой отрицательной обратной связью по току благодаря наличию резисторов в цепях катодов. Потребность в этом диктуется тем, что лампы работают в режиме больших амплитуд анодного тока, поскольку с нагрузок должны сниматься напряжения сигнала около нескольких десятков вольт. Применение отрицательной обратной связи в этом случае эффективно линеаризует анодно-сеточную характеристику, сводя к минимуму возможность возникновения нелинейных искажений.

За это, правда, приходится платить снижением чувствительности лампы по входному сигналу, но эту потерю удается скомпенсировать, применив в фазоинверторе лампу с большим коэффициентом усиления (в нашем случае - 6Н2П, у нее $\mu = 70$).

Электрическая схема усилителя предельно проста, и невольно возникает вопрос: за счет чего удается получить параметры, характерные для аппаратуры высшего класса? Ответ на этот вопрос весьма прост: высокие качественные показатели достигаются исключительно за счет тщательности регулировки и специального отбора комплектующих изделий, о чем стоит поговорить более подробно.

Читатели наверняка заметили, что усилитель является двухтактным, начиная уже с самого входа. Этот выбор изначально избавляет от наличия четных гармоник в выходном сигнале, но одновременно требует сохранения высокой степени симметрии инверсных сигналов на всем протяжении усилительного тракта. Для решения этой задачи принят ряд мер, каждую из которых мы рассмотрим отдельно.

Фазоинверсный каскад сделан не на двух, а на одном общем триоде с разделенными нагрузками в анодной и катодной цепях. Поскольку в этом случае через оба резистора протекает один и тот же анодный ток, то при абсолютном равенстве сопротивлений резисторов разница в амплитудах снимаемых с них полезных сигналов исключена априорно при любых уровнях сигнала, и у конструктора остается лишь одна забота - обеспечить равенство сопротивлений этих двух резисторов.

Особо отметим, что их абсолютная величина не имеет существенного значения и может отличаться от указанной на схеме на 5 или даже 10%. Разница их фактических сопротивлений в идеальном случае должна быть нулевой, а предельно допустимая находиться в пределах 0,25...0,5%. Поэтому лучше всего изначально приобрести прецизионные резисторы типов С2-14, С2-29В или С2-34 с такими допусками либо тщательнейшим образом отобрать два одинаковых резистора из партии в 50-100 шт. с помощью цифрового омметра. Если ни то, ни другое не удастся сделать, можно прибегнуть к описанному раньше способу составления "сцепки" из двух резисторов вместо одного.

Эти же соображения остаются в силе и в отношении нагрузок лампы драйвера, но здесь добавляются требования к максимальной идентичности параметров двух триодов в одной лампе. В этом случае целесообразно индивидуально подобрать лампу, для чего лучше всего воспользоваться измерительной схемой, приведенной на рис. 43. Суть схемы состоит в том, что здесь оба триода работают в абсолютно идентичных условиях - при одинаковом напряжении накала, одинаковом анодном напряжении, на одну общую нагрузку и с одинаковым смещением. В этих условиях расхождение значений анодного тока возможно только в единственном случае - случае неидентичности самих триодов.

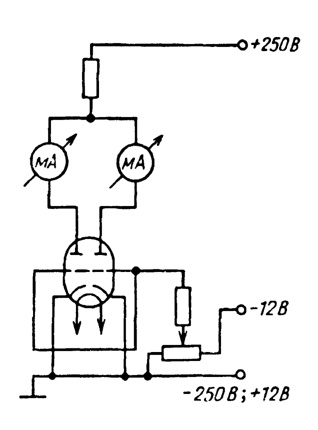


Рис.43. Схема контроля идентичности триодов в сдвоенных лампах

Установив в панельку испытуемую лампу, нужно дискретно, небольшими шагами изменять смещение от полностью запирающего до нулевого, сравнивая при этом для каждой точки величины двух анодных токов. В идеальном случае расхождения между ними вообще не должно быть. На практике максимальный допустимый разброс в самой худшей точке не должен превышать 1%. Если же этот разброс сос-

тавляет, скажем, 5%, то нет смысла затевать изготовление усилителя: высококачественным он вряд ли получится.

Другими критичными элементами схемы являются переходные конденсаторы и включенные последовательно с ними резисторы утечки сетки последующего каскада. Чтобы понять, в чем смысл этой критичности, рассмотрим простейший пример и проиллюстрируем его элементарным расчетом.

Пусть переходной конденсатор с анода драйверной лампы правым концом подключен непосредственно к сетке оконечной лампы, резистор утечки которой имеет сопротивление 220 кОм. И пусть в одном плече пушпулла фактическая емкость переходного конденсатора точно равна обозначенной на нем и составляет 0,1 мкФ, а в другом - 0,09 мкФ. Казалось бы, этот 10%-ный разброс, обычно вполне допустимый, никак не должен повлиять на такой параметр, как коэффициент нелинейных искажений. Однако не будем торопиться.

Воспользуемся формулой для определения реактивного сопротивления конденсатора

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC},$$

где частота - в герцах, емкость - в фарадах, а сопротивление получается в омах. Нижняя граница частоты в нашем случае составляет 20 Гц, поэтому значение $2\pi f$ можно принять с несущественным округлением, равным 125. Подставив его в формулу, найдем

$$X_{C1} = 80 \text{ кОм}, X_{C2} = 90 \text{ кОм}.$$

Таким образом, для частоты 20 Гц имеем в двух плечах пушпулла эквивалентные активные делители напряжения с плечами 80+220 и 90+220 кОм. Нетрудно подсчитать, что в этом случае к сеткам оконечных ламп будут подводиться напряжения, различающиеся по значению на 3,2%, что вызовет возникновение соответствующих нелинейных искажений, особенно нежелательных именно на крайних нижних частотах из-за широкого спектра гармоник, попадающих в рабочий диапазон усилителя.

Отсюда становится ясной недопустимость разброса фактических значений емкости переходных конденсаторов: пусть лучше их емкость отличается от указанной на схеме даже на 10%, чем две емкости будут различаться между собой на 1%.

Естественно, что точно такой же эффект вызовет и разброс фактических сопротивлений у резисторов утечки сетки двух оконечных ламп, поэтому эти резисторы должны иметь допуск 0,5 или 1,0% либо их пару следует индивидуально отобрать на цифровом омметре.

Но главным элементом, определяющим качественные показатели усилителя, бесспорно, является выходной трансформатор, от качества и тщательности изготовления которого в конечном итоге зависят почти все параметры усилителя. Это настолько важно, что вопросам изготовления трансформаторов посвящен специальный раздел в конце книги, где описан процесс изготовления и сборки

трансформатора к этому усилителю и приведены его конструктивные и намоточные данные.

Питание усилителя осуществляется от одного общего анодного выпрямителя через однозвенный П-образный CLC-фильтр с конденсаторами емкостью не менее 150 мкФ на входе и выходе фильтра и дросселем L1, настраиваемым на частоту 100 Гц.

Для данного усилителя на мощных оконечных триодах выпрямитель должен быть выполнен на кенотронах либо обязательно иметь систему задержки включения анодного напряжения до полного прогрева катодов оконечных ламп. Подача полного анодного напряжения на холодные лампы (в момент включения усилителя) неизбежно ускорит старение оконечных ламп и их выход из строя.

Это, пожалуй, все, поскольку регулировка усилителя абсолютно ничем не отличается от регулировки других усилителей, описанных перед этим, где процесс регулировки был рассмотрен подробно. Заметим лишь, что при желании в схему можно добавить регулятор громкости на входе усилителя, или индикатор перегрузки, или сделать усилитель двухканальным стереофоническим, совместив в одной конструкции два идентичных усилителя, удвоив мощность выпрямителя и силового трансформатора и оснастив усилитель регулятором стереобаланса, а заодно, может быть, и устройством точной установки стереобаланса. Здесь открывается широкое поле для реализации творческих замыслов.

СТЕРЕОФОНИЧЕСКИЙ УЗЧ МОЩНОСТЬЮ 16 (20) Вт ДЛЯ НАЧИНАЮЩИХ

В заключение приведем еще одну конструкцию, специально рассчитанную на начинающих радиолюбителей, которым вообще не пришлось столкнуться с ламповой аппаратурой.

При написании этого раздела преследовалась одна цель: дать описание конструкции абсолютно надежной, многократно проверенной и легко повторяемой, чтобы начинающий радиолюбитель, располагающий минимумом аппаратуры и оборудования, с ограниченными материально-техническими возможностями и полным отсутствием опыта создания ламповых конструкций был уверен, что построенный им усилитель наверняка не просто заработает, а обязательно будет иметь предусмотренные показатели.

Для этого потребуется точно и неукоснительно, шаг за шагом, буква за буквой выполнить все, что дальше будет сказано. Это касается выбора и отбора деталей, изготовления трансформаторов и, главное, процесса настройки и регулировки усилителя. Если это будет сделано, автор книги гарантирует, что созданный усилитель заработает сразу и будет служить долго, обеспечивая прекрасное качество звучания с современных носителей (пластинок, пленок, СД-дисков).

В основу этого усилителя положена конструкция, разработанная автором в 1968 г. Она была описана в в книге "Высококачественные

любительские усилители низкой частоты", вышедшей в издательстве "Энергия" в серии "Массовая радиобиблиотека" (выпуск 663), и, судя по многочисленным отзывам читателей, многократно повторена сотнями радиолюбителей.

Ниже приведено описание модернизированного варианта, в котором учтены все пожелания и замечания, полученные автором от радиолюбителей, а также осуществлена замена многих комплектующих изделий более современными. Полностью изменены конструкция и технология намотки выходных трансформаторов, изменена электрическая схема коммутации, предельно (но без ущерба для качества!) упрощена конструкция усилителя и акустической системы, использованы более современные громкоговорители (взамен снятых с производства). Все это позволило значительно улучшить качественные показатели усилителя и максимально упростить его настройку.

Усилитель - стереофонический, двухканальный, состоит из двух совершенно одинаковых четырехкаскадных усилителей, каждый из которых имеет следующие параметры:

Неискаженная выходная мощность на активной нагрузке, измеренная на частотах 400, 1000 и 5000 Гц:
- при коэффициенте нелинейных искажений до 0,5% . . . . 8 Вт
- при коэффициенте нелинейных искажений до 1,0% . . . . 10 Вт

Электрическая полоса пропускания, измеренная на активной нагрузке . . . . 20 Гц... 30 кГц

Неравномерность частотной характеристики в пределах указанной полосы при средних положениях регуляторов тембра, максимальной громкости или при нажатой кнопке "Концерт" не более . . . . 2 дБ

Регулировка тембра - раздельная по низким и высоким частотам с глубиной регулировки на частотах 40 Гц и 10 кГц не менее 14 дБ

Уровень собственного фона и шумов не хуже . . . . -66 дБ

Регулировка громкости - плавная, частотно-зависимая, со схемой тонкомпенсации, соответствующей стандартным кривым равной громкости.

На рис.44 приведена полная принципиальная схема УЗЧ для обоих каналов вместе с блоком питания. Рассмотрим ее подробно. Усилитель начинается с тонкомпенсированного регулятора громкости на потенциометре R2. В отличие от исходной конструкции из схемы исключен коммутатор каналов "левый-правый-стерео", ибо, как показала практика, пользоваться им приходится не часто, а монтаж усилителя без коммутатора заметно упрощается. Заодно исключаются причины возникновения дополнительного фона и наводок, борьба с которыми для малоопытного конструктора - дело сложное и неблагодарное.

Сам регулятор собран по схеме, уже описанной в предыдущих конструкциях, а на рис. 19 вы найдете чертеж печатной платы схемы тонкомпенсации и конструкции всего узла регулятора громкости.

Сигнал с регулятора громкости снимается на левый (по схеме) триод лампы VL1 6Н1П. В конструкции этой лампы предусмотрен специальный внутренний статический экран между двумя триодами для исключения взаимного влияния. Этот экран выведен отдельно на 9-ю ножку ламповой панели, лепесток которой при монтаже обязательно должен быть заземлен.

Усиленный первым триодом сигнал поступает на сетку второго триода через некий условный блок, выделенный на схеме штриховыми линиями. Однако на схеме внутри этого блока ничего нет, кроме переключателя S1, который на самом деле ничего не коммутирует. Здесь требуются разъяснения.

Дело в том, что внутри этого условно выделенного блока может быть либо два обычных регулятора тембра (раздельно по высоким и низким частотам), либо коммутатор частотных характеристик, включающий 6-позиционный переключатель типа П2К, с помощью которого можно выбрать одну из четырех заранее сформированных частотных характеристик или включить два плавных регулятора для установки желаемого тембра звучания на слух.

Полная схема такого блока (кланг-регистра) приведена на рис. 45. Сравнивая эти две схемы, можно видеть, что на обеих есть четыре общие точки, обозначенные заглавными буквами А, А', Б и Б'. На схеме усилителя ими помечают выход первого каскада (буквы А и А' для левого и правого каналов) и вход второго каскада (буквы Б и Б' соответственно), а на схеме кланг-регистра им соответствуют вход и выход коммутационного блока.

Если радиолюбитель захочет этот блок включить в состав усилителя, его придется выполнить на отдельной печатной плате в соответствии с подробным описанием, которое приведено ниже. Если же такого желания не возникнет, можно ограничиться двумя плавными регуляторами тембра, подключив к усилителю только ту часть схемы кланг-регистра, в которую входят резисторы R11-R17 и конденсаторы С7-С10. Этот участок схемы отмечен строчными буквами а, а', б и б', так что нужно соединить между собой точки А и а, Б и б , А' и а',Б'и б'. Никаких изменений в схеме усилителя при этом делать не нужно.

С анода второго триода лампы VL1 сигнал через цепь С8 R13 подается на сетку первого триода лампы VL2 фазоинвертора, собранного на двойном триоде 6Н2П. Резистор R13 включен в эту цепь последовательно. Он совместно с резисторами R14 и R11 образует регулируемый делитель, позволяющий в широких пределах изменять соотношение уровней сигналов в левом и правом каналах, т.е. выполнять функции регулятора стереобаланса.

Инвертирование происходит за счет того, что после усиления первым триодом часть сигнала, подаваемого на сетку одной из оконечных ламп, через регулируемый делитель R25 + R24 попадает на сетку второго триода фазоинвертора, с анода которого повернутый на 180° сигнал подводится к сетке второй оконечной лампы. Потенциометром R24 в процессе регулировки усилителя добиваются на сетках ламп VL3 и VL4 полного равенства уровней полезного сигнала.

Оконечный каскад - двухтактный, выполнен на двух лучевых тетродах EL-84 (6П14П) по ультралинейной схеме с автоматическим смещением. Резистор автоматического смещения R26 общий для обеих ламп. Это сделано, чтобы избежать установления разных рабочих точек характеристик ламп при возможном разбросе сопротивлений двух резисторов. Лампы работают в классе А. Нагрузкой каскада является выходной трансформатор Т2, две отдельные

первичные обмотки которого имеют отводы для подключения экранирующих сеток ламп, а вторичная обмотка разделена на восемь секций, коммутируемых переключателем S2. Это дает возможность оптимально согласовать выход усилителя практически с любой акустической системой, имеющей полное сопротивление от 2 до 16 Ом.

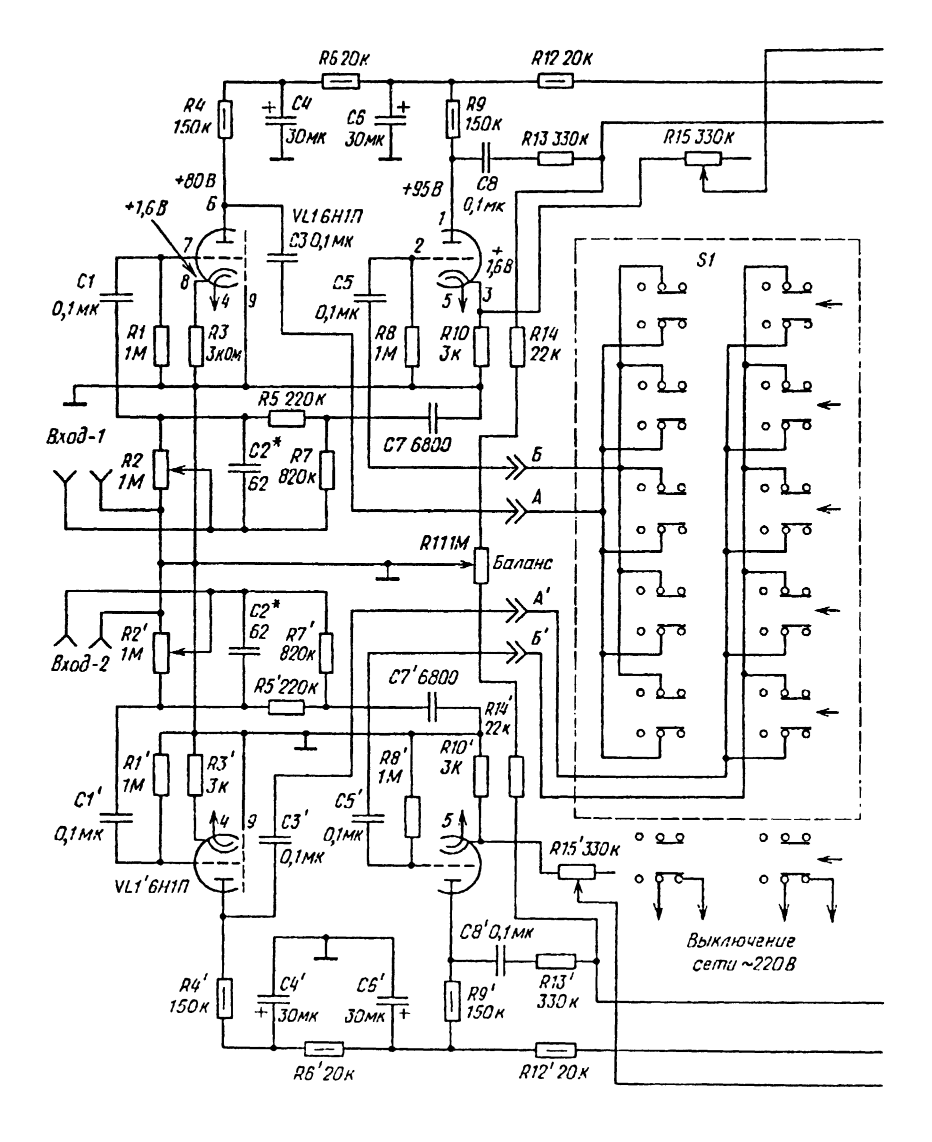
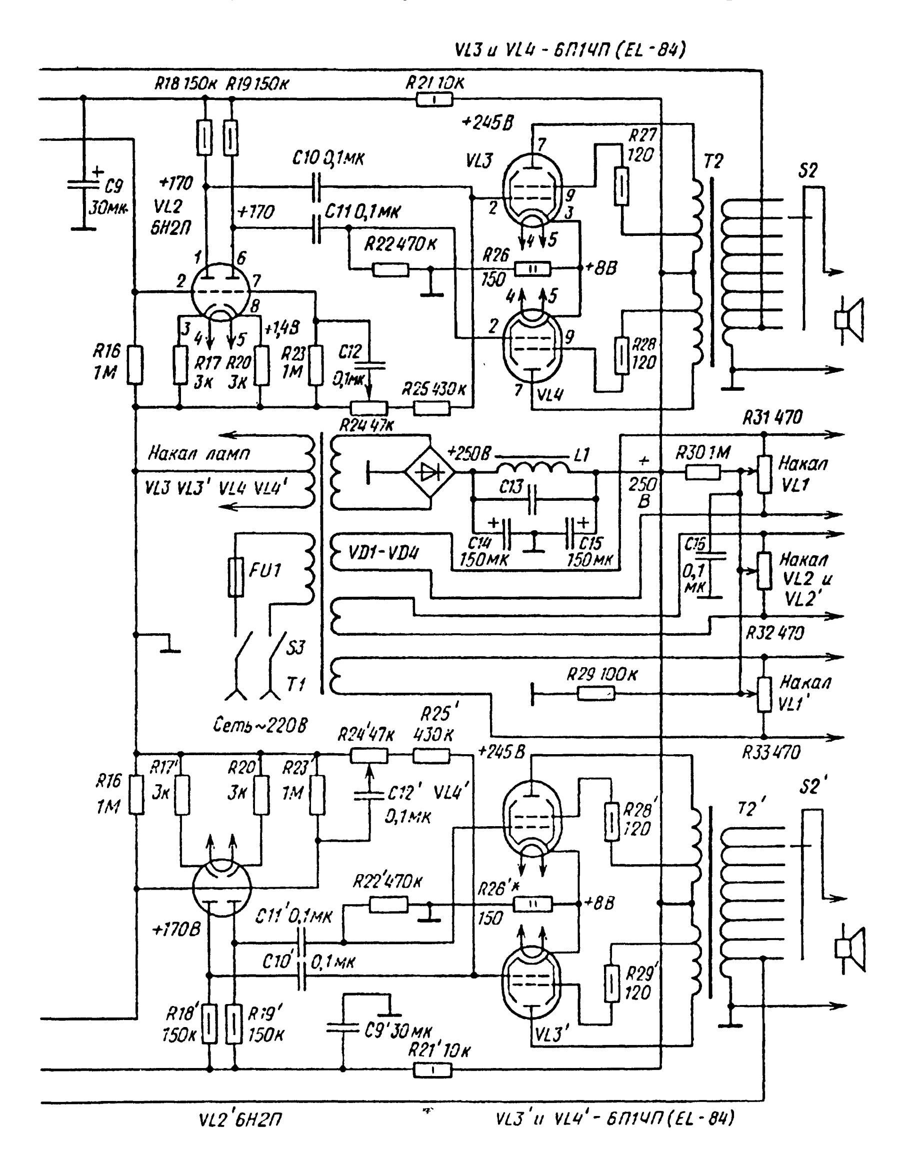


Рис.44. Принципиальная схема

Один конец вторичной обмотки заземлен, и с первой (от точки заземления) секции снимается напряжение отрицательной обратной связи, которое через регулируемый резистор R15 подается на катод второго триода лампы VL1.

Вернемся к блоку коммутации частотных характеристик и рассмотрим его подробнее. Основу его схемы составляет переключатель



стереофонического УЗЧ

типа П2К с шестью взаимозависимыми секциями, каждая из которых имеет по четыре переключающих группы контактов (рис. 45).

Первые четыре кнопки переключателя коммутируют фиксированные, заранее сформированные частотные характеристики, условно обозначенные как "Джаз", "Концерт", "Речь" и "Интим". При нажатии на любую из этих клавиш происходит автоматическое включение усилителя в сеть, плавные регуляторы тембра отключаются, а общая частотная характеристика усилителя принимает вид, изображенный на рис. 12.

При нажатии на пятую кнопку усилитель также включается в сеть, блок фиксированных характеристик отключается и вместо него подключаются два плавных регулятора тембра. При нажатии на шестую кнопку усилитель отключается от сети. Если радиолюбитель не будет делать кланг-регистр, необходимо предусмотреть отдельный выключатель сети.

Конструктивно весь блок кланг-регистра выполнен на двух печатных платах, на одной из которых крепится переключатель, на другой - все элементы формирования фиксированных характеристик. Обе эти платы можно выполнить как единое целое. На рис. 46 показана именно такая объединенная плата, но на ней штриховыми линиями изображены границы двух отдельных плат. На том же рисунке дано расположение на плате всех схемных элементов в соответствии с нумерацией на схеме рис. 45 , а также указаны размеры плат.

По окончании монтажа весь блок должен быть помещен в сплошной металлический кожух-экран с отверстиями для пропуска толкателей переключателя и экранированных соединительных проводов, идущих к печатным платам самих усилителей и к регуляторам тембра.

Сам усилитель также выполнен на печатных платах (по одной на каждый канал), показанных на рис. 47 и 48 . Нумерация деталей здесь приведена в соответствии со схемой усилителя (рис. 44), а для элементов схемы плавных регуляторов тембра - со схемой рис. 45 .

Питание усилителя производится от одного общего выпрямителя, собранного по мостовой схеме на любых кремниевых диодах, выдерживающих ток не менее 150 мА при допустимом обратном напряжении не ниже 300 В. На выходе выпрямителя включен П-образный LC-фильтр с дросселем L1, настраиваемым в резонанс на частоту 100 Гц. В конструкциях автора для экономии места применялись сдвоенные оксидные конденсаторы емкостью 30+150 мкФ на рабочее напряжение 300 или 350 В. Сегодня такие конденсаторы могут оказаться недоступными, поэтому каждый радиолюбитель может использовать любые другие конденсаторы с нужной емкостью и рабочим напряжением из числа имеющихся, разместив их на свободных участках в подвале шасси или сверху.

Потенциометры R31 - R33, с помощью которых осуществляется балансировка цепей накала ламп 6Н1П и 6Н2П, размещены непосредственно на шасси в районе расположения силового трансформатора. Электрические и конструктивные данные силового и выходных трансформаторов приведены в следующем разделе, целиком посвя-

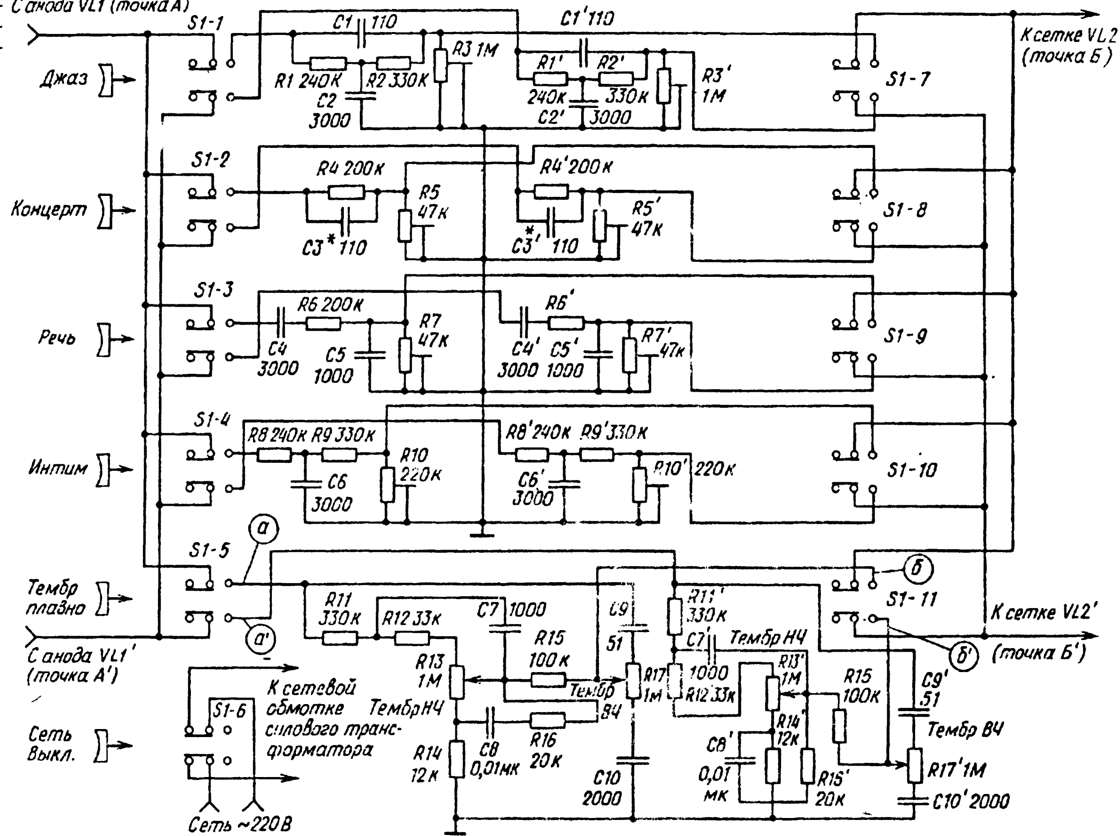


Рис. 45. Электрическая схема коммутатора частотных характеристик

Размер печатных плат:
110×50 мм
125×45 мм

Джаз Речь Интим Концерт Плавно Выкл.

Рис.46. Печатная плата блока кланг-регистра

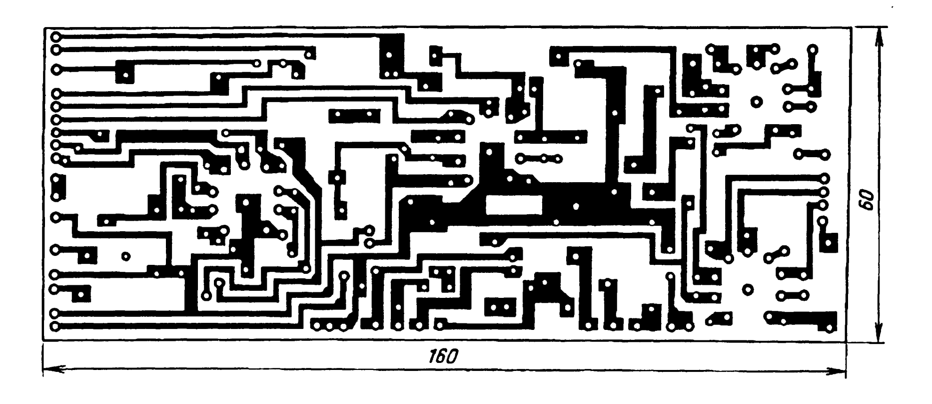


Рис.47. Заготовка печатной платы одного канала стереоусилителя

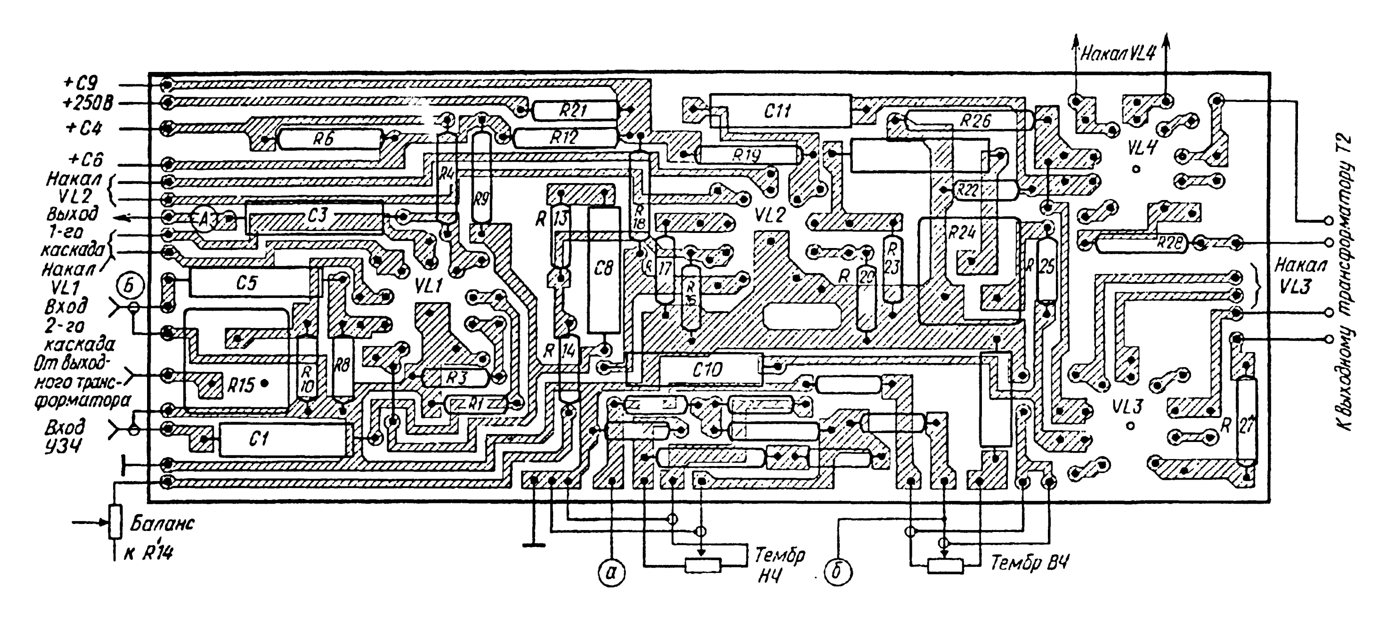


Рис.48. Расположение схемных элементов на печатной плате

щенном технологии изготовления трансформаторов. Там же можно найти и данные дросселя фильтра.

Конструкция усилителя в значительной мере будет зависеть от того решения, которое радиолюбитель примет в отношении схемы регулировки тембра: будет ли на передней панели переключатель кланг-регистра, потребуется ли дополнительное место в подвале шасси для двух дополнительных печатных плат и как в соответствии с этим окажутся расположены четыре оперативных регулятора. Поэтому дать единые рекомендации по конструкции усилителя вряд ли удастся.

Тем не менее на рис. 49 приведены чертеж и размеры для одного из вариантов усилителя с кланг-регистром, который может послужить базовой основой при самостоятельной компоновке. Сохранив общий принцип взаимного расположения узлов, плат и деталей на шасси, радиолюбителю придется самостоятельно скорректировать и уточнить его конфигурацию и размеры исходя из фактических габаритных размеров имеющихся у него деталей. Разумеется, также не обязательно повторять и внешнее оформление усилителя. Однако нельзя забывать о том, что любая конструкция должна обеспечивать хорошую вентиляцию внутри футляра, так как четыре оконечные лампы выделяют довольно много тепла, что при отсутствии вентиляции может привести к недопустимому перегреву футляра и пагубно отразиться на работоспособности некоторых деталей (например, конденсаторов).

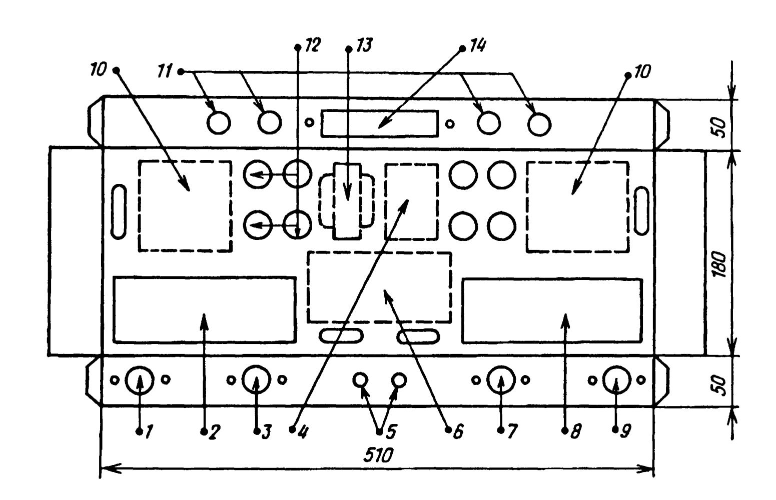


Рис.49. Конструкция и ориентировочные размеры шасси для одного из вариантов стереоусилителя:

1 - выходной разъем левого канала; *2* - плата усилителя левого канала; *3* - входной разъем левого канала; *4* - плата выпрямителя; *5* - разъем подключения сети; *6* - силовой трансформатор; *7* - входной разъем правого канала; *8* - плата усилителя правого канала; *9* - выходной разъем правого канала; *10* - выходные трансформаторы; *11* - регуляторы громкости, тембра, стереобаланса; *12* - оксидные конденсаторы; *13* - дроссель фильтра; *14* - окно переключателя кланг-регистра

Да и сами оконечные лампы (особенно отечественного производства - 6П14П) при перегреве склонны к появлению сеточного термотока, резко меняющего положение рабочей точки лампы и приводящего к недопустимым нелинейным искажениям.

И наконец, о регулировке. Если усилитель изготовлен и собран без грубых ошибок, его налаживание не представляет трудностей. Правда, для этого радиолюбителю необходимо выполнить несколько несложных условий, относящихся в основном к отбору деталей.

Необходимо помнить, что элементы, работающие в симметричных частях схемы, обязательно должны быть одинаковыми по величине с разницей не более чем 1%. Таких деталей немного, перечислим их.

1. Резисторы R17 и R20 в цепях катодов левого и правого триодов лампы 6Н2П фазоинвертора.

2. Резисторы R18 и R19 в анодных цепях той же лампы.

3. Резисторы R27 и R28 в цепях экранирующих сеток оконечных ламп.

4. Две пары резисторов в цепи делителя схемы балансировки - R13-R14 в левом канале и R13' -R14' - в правом.

5. Конденсаторы C10 и C11, которые по абсолютной величине могут иметь отклонение от указанных на схеме до 10%, но обязательно они должны быть попарно одинаковыми.

В качестве регулятора громкости желательно использовать сдвоенный потенциометр, у которого для двух его частей будут максимально одинаковыми как абсолютные величины их сопротивлений, так и закон изменения этих величин от угла поворота оси, что особенно существенно в области самых малых значений (при минимальной громкости).

Остальные резисторы и конденсаторы могут иметь отклонения от указанных на схеме значений до 10%, что практически никак не влияет на параметры усилителя, хотя в цепях автоматического смещения лучше использовать резисторы с отклонением не более 5%.

Итак, все наши предостережения учтены, пожелания выполнены, усилитель собран, и теперь остается его отрегулировать. Начинаем, как всегда, с проверки правильности монтажа. Этот процесс был описан в предыдущих разделах - он сводится в основном к поиску коротких замыканий и обрывов в тех цепях, где их не должно быть (например, между "+" и "-" всех оксидных конденсаторов). Затем следуют включение в сеть при вынутых лампах и проверка наличия всех постоянных и переменных напряжений на соответствующих лепестках ламповых панелек и плюсовых выводах конденсаторов фильтров.

Если с этим все в порядке, можно вставить лампы в панельки и после их полного прогрева (около 1 мин) замерить реальные напряжения на анодах, катодах и экранирующих сетках всех ламп. Измеренные значения не должны заметно отличаться от указанных на схеме, а напряжения на двух анодах и двух катодах лампы VL2 (6Н2П) вообще должны быть абсолютно одинаковыми. Если это не так, то возможно одно из двух: либо два триода этой лампы неидентичны, и тогда следует заменить лампу, либо вы проигнорировали наш совет и поставили разные резисторы в цепи анодов или катодов.

Следующий этап - самый ответственный - установка всех регулировочных (подстроечных) резисторов в единственное оптимальное положение. Здесь целесообразно буквально продиктовать по пунктам все необходимые действия в строго определенной последовательности.

Прежде всего установите все потенциометры и переключатели в исходное положение:

регулятор громкости (R2) - в положение максимальной громкости;

оба регулятора тембра R13 и R17 (см. рис. 45) и регулятор стереобаланса R11 (см. рис. 44) - в среднее положение;

регулятор уровня обратной связи R15 - в положение наибольшего сопротивления;

регулятор уровня инверсного сигнала R24 - в положение "заземленного" движка;

переключатель сопротивлений нагрузки S2 - в среднее положение;

переключатель кланг-регистра (если он есть) - в положение "Тембр плавно";

все три регулятора R31-R33 балансировки в цепях накала ламп - в среднее положение.

Обязательно подключите к выходам обоих каналов нагрузку в виде реальных звуковых колонок или эквивалентов (постоянный резистор сопротивлением от 2 до 16 Ом и мощностью не менее 10 Вт). На этом предварительную подготовку можно считать оконченной. Дальнейшую регулировку можно производить только с помощью измерительной аппаратуры.

Раньше уже говорилось, что при регулировке этого усилителя можно обойтись минимумом приборов, но некоторые из них совершенно необходимы. Вот их перечень:

1. Тестер-омметр любого типа.

2. Многошкальный ламповый или транзисторный милливольтметр переменного напряжения звуковых частот с нижней границей не хуже 5 мВ на всю шкалу и верхней границей не менее 15 В (например, типа ЛВ-9, МВЛ или более современный В3-44).

3. Электронно-лучевой осциллограф практически любого типа с любым размером экрана.

4. Звуковой генератор с диапазоном частот не уже 20 Гц...20 кГц и регулируемым уровнем выходного сигнала. Желательно, чтобы он имел встроенный измеритель выходного напряжения и собственные нелинейные искажения в пределах 1%.

Если у вас есть такой комплект, можно приступать к регулировке. Для начала подключите выход звукового генератора к входу одного из каналов усилителя (любого), а осциллограф и ламповый милливольтметр, соединенные параллельно, - к управляющей сетке лампы VL3. Именно VL3, а не VL4! Милливольтметр следует включить на такой предел измерения, чтобы напряжение 5 В приходилось приблизительно на середину шкалы.

Установите на звуковом генераторе частоту 1000 Гц и начинайте постепенно увеличивать сигнал до тех пор, пока на сетке оконечной

лампы не окажется ровно 5,0 В. Ручками "Синхронизация", "Частота развертки" "Усиление по вертикали" добейтесь, чтобы на экране осциллографа были видны 2-3 периода устойчивой синусоиды. Эта синусоида при любых обстоятельствах не должна иметь ни малейших следов искажений. Если же искажения видны, значит, усилитель неисправен и нужно снова тщательно проверить все режимы, убедиться в отсутствии ошибок монтажа и коммутации и проверить все лампы.

Если же искажений сигнала нет, перенесите щуп осциллографа и милливольтметра на сетку лампы VL4 и, не меняя уровня сигнала от генератора, начинайте медленно вращать шлиц установочного потенциометра R24 до тех пор, пока на сетке не установится напряжение 5 В. Теперь снова перенесите оба щупа на сетку лампы VL3.

Скорее всего, напряжение на ней немного изменилось (например, стало равно 4,8 или 5,1 В вместо 5,0). С помощью регулятора уровня выходного сигнала на звуковом генераторе восстановите напряжение 5,0 В и снова повторите регулировку уровня для лампы VL4 потенциометром R24. Вполне возможно, что подобные повторные регулировки придется повторить несколько раз до тех пор, пока разница напряжений на сетках ламп VL3 и VL4 не будет укладываться в 1%, т.е. не превысит 0,05 В.

Следующий этап регулировки - получение минимально возможного уровня собственного фона. Для этого регуляторы громкости и тембра устанавливают в положение максимального усиления (подъема характеристик), входные гнезда замыкают накоротко перемычкой, подвал шасси закрывают наглухо металлическим поддоном, звуковой генератор отсоединяют, а щупы осциллографа и милливольтметра подключают к выходным зажимам усилителя (обязательно с учетом соответствия заземленных проводов приборов и вторичной обмотки выходного трансформатора!). И еще очень важное обстоятельство: на входную лампу (VL1 типа 6Н1П) обязательно должен быть надет металлический экран!

Теперь постепенно переключайте осциллограф и милливольтметр на более чувствительные шкалы, наблюдая за экраном и стрелкой прибора. Когда стрелка прибора окажется в районе середины шкалы, а на экране будет отчетливо виден сигнал фона (как правило, с частотой 50 Гц), начинайте вращать шлиц потенциометра R31. В одном из его положений фон станет минимальным. Снова переключите приборы на более чувствительные шкалы и таким же образом отрегулируйте положения потенциометров R32 и R33.

Если при этом окажется, что наименьшему фону соответствует одно из крайних положений потенциометра или что минимальный уровень фона превышает 5 мВ, придется подобрать другие лампы 6Н1П и 6Н2П с меньшим уровнем собственного фона.

Следующий этап - проверка правильности включения обратной связи. Для этого снова подключите к входу усилителя звуковой генератор, на выход - милливольтметр и осциллограф, установите небольшой выходной сигнал от генератора (20...50 мВ на частоте 1000 Гц) и, наблюдая за показанием милливольтметра, медленно вращайте шлиц потенциометра R15. Если при этом выходное напряжение

будет уменьшаться, значит, полярность обратной связи правильная. Если же выходное напряжение начнет расти или усилитель возбудится, значит, вместо отрицательной обратной связи возникла положительная. В этом случае нужно поменять местами крайние выводы вторичной обмотки выходного трансформатора, т.е. заземлить другой, противоположный ее конец. При этом придется переключить на противоположный отвод и провод, идущий к регулятору R15, чтобы напряжение обратной связи снималось (относительно земли!) только с первого, а не с семи отводов. Проделав такую операцию, убедитесь с помощью потенциометра R15, что полярность обратной связи правильная.

Теперь нужно найти оптимальный отвод вторичной обмотки выходного трансформатора под конкретную акустическую систему. Эту операцию лучше всего проделать, когда дома никого, кроме вас, нет, поскольку по крайней мере в течение получаса ваша акустика будет завывать на частоте 1000 Гц с полной мощностью.

Запаситесь бумагой и авторучкой, чтобы делать записи, переключите коммутатор выходных сопротивлений на первое положение и начинайте медленно увеличивать входной сигнал, наблюдая за синусоидой на экране осциллографа. Как только вы заметите появление малейших искажений, уменьшите сигнал до полного их пропадания и запишите номер отвода трансформатора и соответствующее этому отводу максимальное неискаженное выходное напряжение.

Последовательно проделайте эту же операцию для всех восьми положений переключателя S2 и, выключив, наконец, воющий усилитель, определите, какому отводу соответствует максимальный неискаженный сигнал. Это положение переключателя обязательно пометьте краской - оно оптимально для вашей конкретной акустической системы. Если когда-нибудь вы решите перейти на другую акустическую систему, для нее потребуется заново определить оптимальное положение переключателя.

Наконец, последняя регулировочная операция состоит в установке номинальной чувствительности усилителя. Для этого на частоте 1000 Гц подайте на вход усилителя номинальное напряжение (в пределах 50...200 мВ) и вращайте шлиц потенциометра R15 до получения на выходе усилителя максимального неискаженного сигнала. При сопротивлении акустической системы 4 Ом напряжение должно быть примерно 6 В. Для других значений нагрузки выходное напряжение определяется по формуле закона Ома.

Если в усилителе нет кланг-регистра, можно регулировку одного канала считать законченной и приступать к регулировке второго канала. Она абсолютно ничем не отличается от описанной. Если же имеется кланг-регистр, необходимо привести к единому значению уровни сигналов во всех его пяти регистрах, для чего следует вернуться к последней регулировочной операции усилителя - установке чувствительности со входа. Для положения кланг-регистра "Тембр плавно" мы эту операцию уже проделали.

Теперь при нажатой кнопке "Тембр плавно" регулятором уровня сигнала на звуковом генераторе установите на выходе усилителя любое удобное для отсчета небольшое напряжение (например, 1 В) обя-

зательно на частоте 1000 Гц. После этого нажимайте поочередно кнопки "Джаз", "Концерт", "Речь", "Интим" и для каждого из этих режимов с помощью установочных потенциометров R3, R5, R7 и R10 (по схеме рис. 45) соответственно устанавливайте выходное напряжение на нагрузке равным 1 В. Теперь средняя громкость звучания будет обеспечиваться автоматически при любом из пяти имеющихся режимов.

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ САМОДЕЛЬНЫХ НАМОТОЧНЫХ УЗЛОВ

ОБЩИЕ СООБРАЖЕНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Не случайно в этой книге вопросам технологии изготовления трансформаторов уделено особое внимание. Практика создания большого числа ламповых УЗЧ и анализ их работы показали, что именно трансформаторы являются основным источником нелинейных и частотных искажений и по существу ограничивают как полосу пропускания усилителя, так и минимально достижимое значение коэффициента нелинейных искажений.

Чтобы уяснить, в чем именно выражается это влияние, придется немного коснуться теории. Вспомним главное условие передачи электрической энергии без потерь (точнее - с минимально возможными потерями). Оно состоит в том, что внутренние сопротивления источника и потребителя должны быть равны. Если при этом речь идет о передаче энергии не на какой-либо одной частоте, а в некоторой полосе частот, то очевидно, что это равенство должно удовлетворяться для любой частоты в пределах указанной полосы.

Возьмем обычный однотактный оконечный каскад на ламповом триоде с трансформаторным выходом, нагруженный на активную нагрузку R. Принципиальная схема такого каскада показана на рис. 50. Там же дана и эквивалентная схема (без учета влияния источника питания), где лампа представлена в виде генератора с приведенным внутренним сопротивлением r. Здесь и далее будем рассматривать предельно упрощенную модель и анализировать элементарную эквивалентную схему.

Будем считать, что внутреннее сопротивление лампы определенным образом пересчитано во внутреннее сопротивление генератора r и что в первом приближении коэффициент трансформации трансформатора n = 1. Очевидно, что условием оптимальной передачи энергии будет равенство $r = R$.

Рассмотрим соотношения, которыми автор в течение многих лет пользовался при создании различных УЗЧ.

Исходной посылкой для вывода основных формул является следующая: наивыгоднейшей нагрузкой оконечной лампы, обеспечивающей максимум неискаженной отдачи, является нагрузка R_a, равная двойному внутреннему сопротивлению лампы:

$$R_a = 2R_i,$$

где R_i - внутреннее сопротивление лампы (для переменного тока).

При наличии выходного трансформатора и работе на активную нагрузку

$$R_a = n^2 R_a,$$

где n - коэффициент трансформации выходного трансформатора.

В этом случае условие оптимальной передачи выглядит следующим образом:

$$R_a^{\prime} = n^2 R_a = 2R_i.$$

Отсюда получаем формулу для определения оптимального коэффициента трансформации:

$$n = \sqrt{\frac{2R_i}{R_a}}.$$

Для облегчения поиска нужного коэффициента трансформации на рис. 51 приведен график, по которому этот коэффициент определяется практически мгновенно. Величина R_i является справочной паспортной. Для ламп, рекомендуемых в книге, эти данные имеются в табл. 1. Для других ламп, если этого параметра нет в справочнике, его можно определить (в килоомах) по двум другим паспортным параметрам:

$$R_i = \frac{\mu}{S},$$

где μ- коэффициент усиления лампы; S - крутизна ее характеристики, мА/В.

Если r >> R, что бывает практически всегда, поскольку нагрузкой любого УЗЧ является акустическая система, громкоговорители которой имеют сопротивление порядка единиц ом, то положение легко исправить подбором необходимого коэффициента трансформации выходного трансформатора. Собственно, это и есть одна из двух задач, решаемых трансформатором: отделение полезной переменной

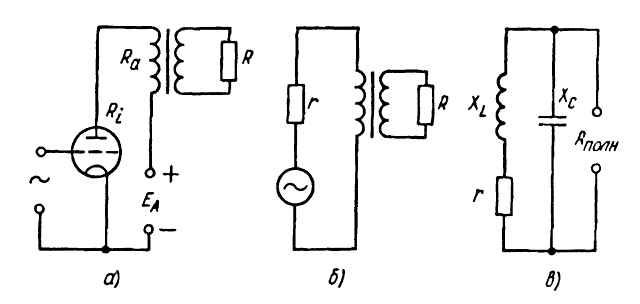


Рис.50. Оконечный трансформаторный каскад на триоде:

а - принципиальная схема; *б* - эквивалентная схема; *в* - эквивалентная схема выходного трансформатора

составляющей сигнала от ненужной постоянной составляющей и согласование низкого активного сопротивления нагрузки со сравнительно высоким внутренним сопротивлением лампы.

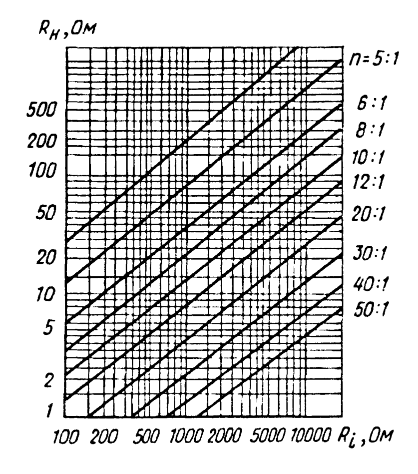


Рис.51. График для определения коэффициента трансформации выходного трансформатора

При расчете реального выходного трансформатора не возникало бы никаких проблем, если бы трансформатор работал только на какой-нибудь одной частоте (безразлично какой) и использовался в однотактной схеме. На практике же мы имеем как раз обратное - почти все современные УЗЧ выполняются с двухтактными оконечными каскадами и работают в очень широком диапазоне частот 20 Гц...20 кГц. Отношение граничных частот составляет 1:1000, что создает принципиально различные, а порой и противоречивые, взаимоисключающие условия работы трансформатора. Следовательно, изменяются и предъявляемые к нему требования.

В чем суть этих противоречий? Для некоторой средней частоты рабочего диапазона (скажем, 1000 Гц) индуктивное сопротивление первичной обмотки трансформатора много выше ее активного (омического) сопротивления, определяемого исключительно длиной и диаметром обмоточного провода.

Например, для типичного "усредненного" трансформатора промышленного лампового радиоприемника индуктивность первичной обмотки находится в пределах 10...15 Гн, а активное сопротивление 500...800 Ом. На частоте 1000 Гц индуктивное сопротивление такой обмотки X_L составляет 62 кОм, и поэтому активным сопротивлением обмотки (500...800 Ом), включенным последовательно с ее индуктивным сопротивлением, можно просто пренебречь - потери на нем составляют около 1%.

Однако на крайней нижней частоте рабочего диапазона (а он даже для самых лучших и дорогих моделей радиоприемников не опускался ниже 60...80 Гц) индуктивное сопротивление обмотки составляет всего 3,5 кОм, поэтому на активной составляющей полного сопротивления обмотки теряется уже 20% полезного сигнала.

Если же мы захотели использовать такой трансформатор в современном усилителе, где нижняя граница рабочего диапазона составляет 20 Гц, то на этой частоте потери сигнала достигли бы уже 70%, т.е. сигнал с частотой 20 Гц воспроизвести вообще бы не удалось.

Так что же надо делать, чтобы решить эту проблему? Ответ очевиден: необходимо увеличить индуктивность первичной обмотки и в то же время уменьшить ее активное сопротивление. Увеличить

индуктивность можно, увеличив число витков обмотки и снизив потери в магнитопроводе трансформатора. Но с увеличением числа витков растет и активное сопротивление обмотки, а нам нужно, чтобы оно уменьшалось. Уменьшить сопротивление обмотки при увеличении числа ее витков можно только одним путем - увеличением сечения (диаметра) обмоточного провода, но тогда для размещения обмотки на каркасе потребуется больше места, а это повлечет за собой увеличение габаритных размеров трансформатора.

Какие же реальные значения индуктивности первичной обмотки и ее активного сопротивления могут считаться приемлемыми для современного УЗЧ с нижней границей полосы пропускания 20 Гц? Если задаться максимальным допустимым значением потери сигнала на нижней частоте диапазона 10%, то расчеты дадут L = 40 Гн при r = 500 Ом

$$X_L = 2\pi fL = 6{,}28 \times 20 \times 40 = 5 \text{ кОм};\ r = 0{,}5 \text{ кОм};\ r = 0{,}1\,X_L.$$

Конструктивный расчет такого "теоретического" трансформатора с учетом того, что для двухтактной схемы первичных обмоток должно быть две, а не одна, дает значение 1500...2500 витков провода ПЭЛ или ПЭВ диаметром (по меди!) 0,44...0,51 мм для первичной обмотки и 50...150 витков провода диаметром 0,8...1,2 мм - для вторичной. Для того чтобы эти обмотки разместились на каркасе, размер его окна должен быть примерно 20x50 мм, что приводит к необходимости применять трансформатор с сечением магнитопровода не менее чем 10...12 см^2 при выходной мощности усилителя всего 10...15 Вт. Для усилителей с выходной мощностью 40 Вт сечение соответственно увеличивается до 15...18 см^2.

Для сравнения напомним, что такой пакет железа (сечением 30x63 мм) имел... силовой трансформатор телевизора "Рубин-102" мощностью 150 Вт! Такова сегодня цена за реальную нижнюю границу полосы пропускания усилителя 20 Гц.

Теперь поговорим о цене другого показателя - неидентичности данных двух половинок первичной обмотки, намотанных традиционным, неизменно применявшимся в промышленном производстве методом - одна на другой. Давайте внимательно рассмотрим разрез каркаса катушки выходного трансформатора, показанный на рис. 52. На каркас вначале наматывалась одна половина первичной обмотки, затем следовал один или несколько слоев изоляции, а после нее наматывалась вторая половина обмотки (для упрощения картины не будем учитывать наличие вторичной обмотки). При этом совершенно очевидно, что длина первого витка (у основания каркаса) была значительно меньше длины последнего витка второй половины обмотки. Однако слово "значительно" в данном случае неприемлемо: нас интересует количественная сторона вопроса.

Для начала, чтобы не загружать читателя громоздкими вычислениями, обратимся к простейшим арифметически-геометрическим расчетам. Из рисунка видно, что длина самого первого (внутреннего) витка составляет 4+3+4+3=14 см, а последнего (внешнего) - 7+8+7+8=30 см. Нас, однако, интересуют длины не двух крайних витков, а сравнительные длины средних витков в первой и

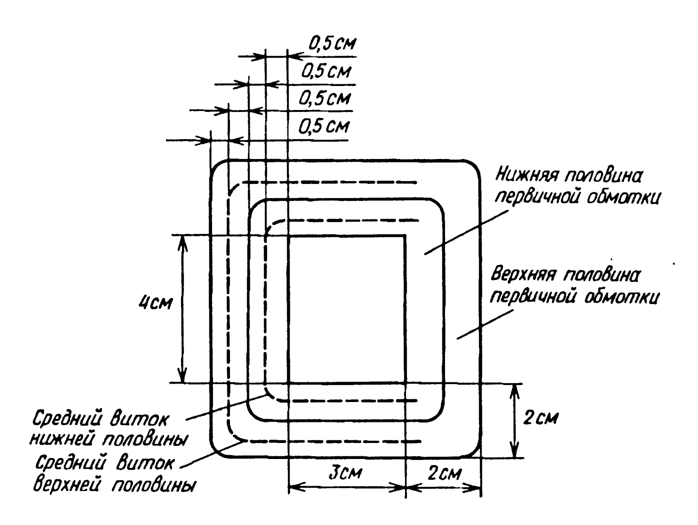


Рис.52. Разрез каркаса выходного трансформатора

второй половинах обмотки, поскольку они прямо пропорциональны значениям активных сопротивлений этих двух половин. Из того же рисунка видно, что они составят l_1 = 4+5+4+5 = 18 см и l_2 = 6+7+6+7 = =26 см. Поскольку вся обмотка намотана одним и тем же проводом, соотношение активных сопротивлений двух ее половинок будет таким же, т.е. при общем сопротивлении в 500 Ом нижняя половинка будет иметь сопротивление r_1 = 200 Ом, а верхняя - r_2 = 300 Ом.

Еще раз оговоримся, что этот расчет достаточно приближенный, но даже он приводит к следующему результату: если в оконечном каскаде применены два триода с анодным током 100 мА каждый при напряжении источника 120 В (например, лампы 6С19П), то в результате падения напряжения на постоянном активном сопротивлении обмоток

$$U_1 = I_a r_1 = 0{,}1 \text{x} 200 = 20 \text{ В}; \ U_2 = I_a r_2 = 0{,}1 \text{x} 300 = 30 \text{ В}$$

на аноде первой лампы останется 120 - 20 = 100 В, а на аноде второй - 120 - 30 = 90 В.

Таким образом, при классической методике намотки трансформатора и абсолютном равенстве числа витков двух половинок первичной обмотки напряжения на анодах двух оконечных ламп будут различаться на 10%, что, конечно же, исключит возможность получения нелинейных искажений в пределах 1%.

Такова цена "классической" технологии намотки выходного трансформатора. К этому следует добавить, что и индуктивности обеих половинок обмотки окажутся неодинаковыми, поскольку в формулу индуктивности многослойной цилиндрической катушки входят диаметры нижнего и верхнего витков, а они для двух половинок обмотки окажутся разными.

Но для чего мы так подробно рассматриваем все эти вопросы, вместо того чтобы просто привести конкретные конструктивные и намоточные данные трансформаторов? С единственной целью: чтобы, во-первых, радиолюбитель понял, что предъявляемые к конструированию трансформаторов требования, с которыми он дальше столкнется, отнюдь не являются неоправданными или чрезмерными, и, во-вторых, чтобы при изготовлении трансформаторов он неуклонно следовал нашим указаниям и рекомендациям.

Перейдем к практической стороне дела. Начнем с выбора типа магнитопровода для выходных трансформаторов. С точки зрения качества работы трансформатора форма его железного магнитопровода не имеет существенного значения, но с позиции удобства намотки лучше использовать О-образные ленточные разрезные магнитопроводы стержневого типа. В этом случае на каждом из двух стержней размещают два совершенно одинаковых каркаса с двумя абсолютно идентичными обмотками, что в принципе исключает разницу в электрических данных этих обмоток.

Намотка каждой из двух катушек в этом случае не требует никаких специальных действий и выполняется на обычном намоточном станке с "водилом" (укладчиком витков) и счетчиком точного числа витков, позволяющим осуществлять плотную рядовую послойную намотку "виток к витку". Наматывать катушки внавал недопустимо.

Поверх половинки первичной обмотки на каждой из двух катушек наматывают таким же образом половину витков вторичной обмотки, а после сборки трансформатора обе половины как первичной, так и вторичной обмотки соединяют последовательно. Такой трансформатор является идеальным в отношении полной идентичности симметричных частей его обмоток и имеет незначительные внешние поля рассеяния.

Можно изготовить хороший выходной трансформатор и на шихтованном броневом магнитопроводе из отдельных Ш-образных пластин, однако его изготовление более трудоемко и требует выполнения дополнительных операций.

Первая трудность связана с самим магнитопроводом. Прежде всего нужно учесть, что пластины толщиной 0,5 мм для наших целей непригодны. Максимальная допустимая толщина 0,35 мм, а если железо будет 0,2 мм - еще лучше.

Собрав пакет необходимой толщины, следует прибавить к нему еще не менее 10% дополнительных резервных пластин (и перемычек) про запас. Все пластины и перемычки необходимо с двух сторон покрыть из пульверизатора любой нитрокраской или жидким цапонлаком, после чего тщательно высушить (на воздухе, на солнце или в духовке). Эта мера нужна для сведения к минимуму потерь в магнитопроводе на токи Фуко. После этого каждую пластину и перемычку надо обследовать на предмет отсутствия на них заусениц и зазубрин, которые в процессе сборки пакета могут нарушить (процарапать) защитный слой лака или краски. Обнаруженные дефекты можно устранить с помощью надфиля, мелкого наждачного круга или ножа. Еще лучше заменить дефектные пластины из числа резервных.

Следующая проблема - секционированный каркас. Скорее всего, ни один из промышленных вам не подойдет, особенно если он неразборный. Но прежде, чем вы приступите к самостоятельному изготовлению каркаса, нужно остановиться на одном из трех вариантов намотки, показанных на рис. 53. Вариант *а* предполагает наличие каркаса, разделенного точно пополам дополнительной внутренней щечкой на всю высоту окна. В этом случае в каждой секции наматывается по одной половинке первичной обмотки, поверх которой после нескольких слоев изоляции (кабельной бумагой или лакотканью) в каждой секции укладывается ровно половина витков вторичной

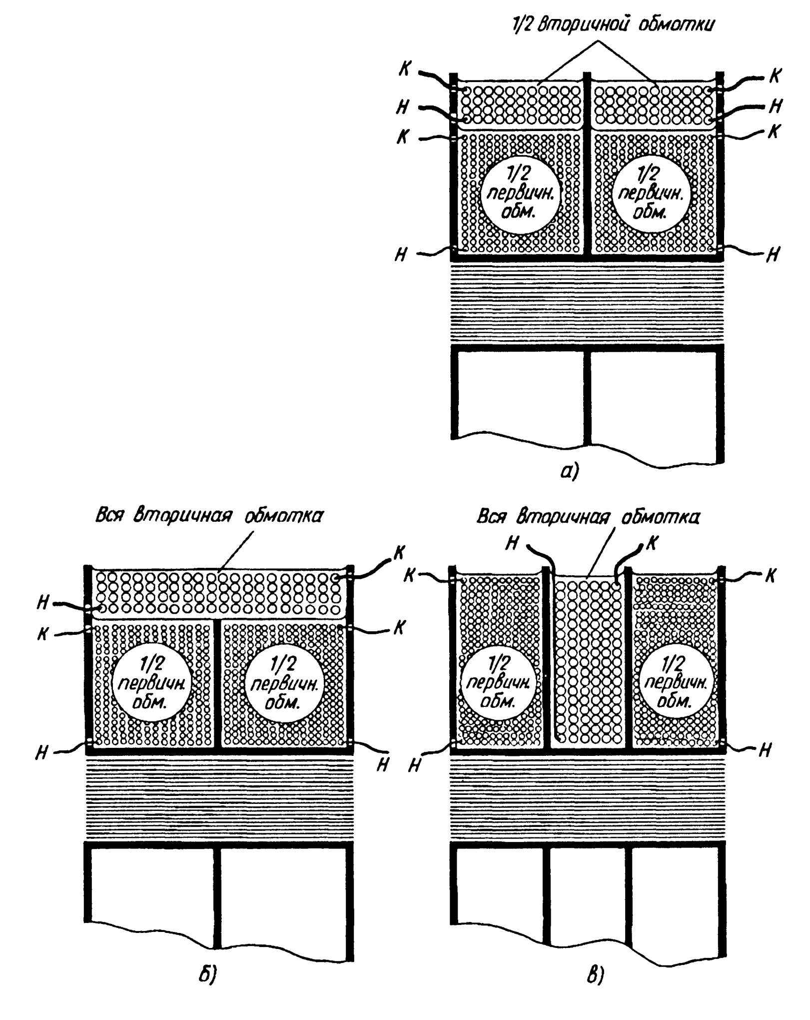


Рис.53. Три варианта секционированной намотки выходного трансформатора

обмотки. Секции первичной и вторичной обмоток (разумеется, порозь) соединяют последовательно.

В варианте *б* средняя щечка делается меньшей высоты - вровень с половинками первичной обмотки. После их намотки укладываются два-три слоя изоляции кабельной бумаги во всю ширину каркаса, и сверху, также во всю ширину каркаса, наматывается без разрыва вся вторичная обмотка.

И наконец, вариант *в* предусматривает разбивку каркаса на три одинаковые секции. В двух крайних секциях наматывают половинки первичной обмотки, а в средней секции - всю вторичную обмотку. С электрической точки зрения все три варианта равноценны, поэтому конструктор может остановить свой выбор на любом из них.

Пластины магнитопровода собирают встык, без зазора, поскольку в двухтактных схемах подмагничивание постоянным током отсутствует. Собранный трансформатор желательно подвергнуть влагозащитной обработке, осуществить которую в домашних условиях довольно просто. Для этого в железной банке из-под консервов или любой другой подобной посуде (кастрюльке, миске), внутри которой может поместиться целиком или хотя бы частично выходной трансформатор, нужно растопить и хорошо прогреть воск, парафин, стеарин или промышленный церезин. Трансформатор опускают в банку и выдерживают в ней 2...3 мин, непрерывно подогревая расплав.

После полного остывания (до комнатной температуры) застывшие потеки, если они мешают креплению трансформатора, можно осторожно удалить деревянной или пластмассовой лопаточкой (но не стальным ножом!). Если есть возможность, готовый трансформатор перед установкой на шасси желательно поместить в сплошной металлический кожух-экран. Это необходимо сделать, чтобы исключить воздействие его электрических и магнитных полей на лампы, открытый печатный монтаж, оперативные регуляторы и соединительные провода и тем самым предотвратить возникновение неконтролируемых паразитных обратных связей.

Далее мы приведем конструктивные данные магнитопроводов и электрические данные обмоток для всех описанных в книге усилителей, а также намоточные данные рекомендуемых силовых трансформаторов и дросселей фильтров.

Однако сразу предупреждаем, что точное повторение приводимых данных с точностью до одного витка и использование рекомендованных диаметров намоточного провода не всегда оптимально, а в отдельных случаях могут привести к тому, что все обмотки не поместятся в окне каркаса.

Дело в том, что используемые радиолюбителями пакеты магнитопроводов могут очень сильно, иногда в несколько раз, различаться между собой по качеству трансформаторной стали, что приводит к получению разной индуктивности при абсолютно одинаковом числе витков катушек, а следовательно, к неоптимальному режиму оконечных ламп по отдаваемой неискаженной мощности.

Коэффициент заполнения окна обмотками также зависит от многих данных: от типа применяемых обмоточных проводов (ПЭ, ПЭЛ, ПЭВ-1, ПЭВ-2 и т.д.), имеющих при одном и том же диаметре

по меди (например, 0,2 мм) реальные наружные диаметры от 0,215 до 0,235 мм; от типа и толщины изоляции между слоями и обмотками (папиросная, конденсаторная, кабельная бумага, лакоткань, мелованая бумага, ватман); от количества слоев такой изоляции; от плотности намотки и степени натяжения провода; от полноты заполнения каждого слоя намотки витками и ряда других факторов.

Несколько важных советов:

1. Выбирайте магнитопроводы, выполненные из высококачественных сортов трансформаторной стали.

2. Наматывая обмотку, сделайте два-три отвода в ее начале или конце с шагом в 5% от общего числа витков. Это дает возможность при необходимости подобрать наиболее оптимальное число витков.

3. Наматывайте обмотки только рядовым способом, плотно укладывая виток к витку от щечки до щечки каркаса, не оставляя по краям пустых мест.

4. Обязательно после каждого слоя обмотки делайте изоляционную прокладку из тонкой (папиросной или конденсаторной) бумаги так, чтобы витки следующего ряда не проваливались около щечек каркаса в нижние слои.

5. Избегайте применения обмоточных проводов большего диаметра, чем указано в описании. В противном случае обмотки могут не поместиться в окне каркаса и трансформатор придется перематывать. Имейте в виду, что применение провода чуть меньшего диаметра заметно не повлияет на параметры усилителя, но зато будет гарантировать, что все обмотки уместятся в окне каркаса.

ВЫХОДНОЙ ТРАНСФОРМАТОР ДЛЯ УСИЛИТЕЛЯ ВЫСШЕГО КЛАССА ПОД ЛАМПЫ 6П27С

Магнитопровод - Ш-образный броневой, типоразмера УШ-32, толщина пакета 40 мм, сечение 12,8 см^2, размер окна (без учета толщины его стенок) 32х80 мм. Полезное сечение, используемое для размещения обмоток, не менее 21 см^2, рабочая ширина одного слоя намотки не менее 76 мм.

Выбор типа каркаса (см. рис. 53) и способа намотки определяется самим радиолюбителем. Каждая половина первичной обмотки содержит по 1200 витков провода ПЭЛ или ПЭВ диаметром 0,44 мм. Отвод для подключения экранирующей сетки делают от 500-го витка, однако для любителей-экспериментаторов рекомендуем сделать три отвода: от 500-, 600- и 700-го витков с тем, чтобы иметь возможность подобрать в процессе регулировки усилителя действительно единственный и оптимальный режим работы оконечного каскада по соотношению

$$P_{\text{макс.неискаж}} / \text{КНИ} \; [\%].$$

При плотной рядовой намотке и использовании каркаса с двумя секциями (одна перегородка посредине) в одном слое намотки умещается около 75 витков первичной обмотки, а вся обмотка потребует 16 рядов и займет с учетом толщины и числа изоляционных прокла-

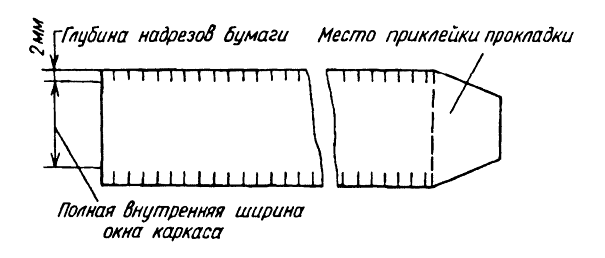


Рис.54. Заготовка изоляционной бумажной прокладки

док чуть меньше половины общего сечения окна каркаса. В оставшейся части окна размещается вторичная обмотка (по одной половине в каждой секции). Между первичной и вторичной обмотками необходимо уложить два-три слоя толстой кабельной бумаги, которую вполне можно заменить полосками чертежного ватмана или мелованой бумаги.

Для тех, кто никогда самостоятельно не наматывал трансформаторов, дадим один полезный практический совет. Бумажные полоски для междуслойной изоляции нужно вырезать на 4 мм шире внутреннего размера окна каркаса и по обеим сторонам ленты через каждые 3...5 мм делать ножницами надрезы глубиной 2...3 мм, как это показано на рис. 54. При наматывании такой ленты надрезы по ее краям загибаются, образуя своеобразное "корыто", что полностью и надежно предотвращает западание крайних витков в низлежащие слои и потому позволяет использовать для намотки полную ширину окна от щечки до щечки.

Вторичная обмотка содержит 120 витков провода ПЭВ или ПЭЛ диаметром 1,0 мм и разбита на восемь секций. В каждой половинке окна наматывается четыре секции по 15 витков (всего по 60 витков).

Таким образом, всего из каркаса будет выходить 16 или 20 выводов. Чтобы впоследствии не запутаться в них, нужно еще до начала намотки позаботиться о том, чтобы в щечках каркаса в нужных местах было просверлено необходимое число отверстий, каждое из которых нужно пронумеровать, и прямо в процессе намотки (а не после его окончания) помечать на листе бумаги, какому из отводов и какой обмотке соответствует номер отверстия на каркасе. После окончания намотки всего трансформатора нужно нарисовать на бумажном квадратике размером 30x70 мм схему трансформатора и проставить на ней номера выводов. Этот паспорт нужно приклеить на видимую выступающую часть каркаса, защитив его сверху полоской прозрачной липкой ленты типа "скотч" соответствующей ширины. В будущем такой паспорт может оказать вам неоценимую услугу, если через несколько лет понадобится перемотать трансформатор.

ВЫХОДНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ ДЛЯ МОЩНОГО ОКОНЕЧНОГО УСИЛИТЕЛЯ НА ТРИОДАХ 6B4G

В предыдущем параграфе был подробно описан выходной трансформатор. Все сказанное о нем целиком распространяется и на все другие трансформаторы, хотя они могут различаться по мощности, числу витков обмоток, числу обмоток, сечению проводов и типам магнитопроводов.

Что же касается трансформатора к этому усилителю, то он в значительной мере повторяет предыдущий, поэтому в основном остановимся на его отличиях. Отличия эти почти целиком определяются выбором типов ламп для оконечного каскада, а вот именно здесь и существует элемент наибольшей неопределенности. И если с приобретением или выбором ламп для предварительных и предоконечных каскадов у большинства радиолюбителей проблем не возникнет, то об оконечных триодах этого сказать нельзя.

Дело в том, что лампы 6Н1П, 6Н2П, 6Н6П, 6Ж32П и им подобные очень широко, в больших количествах и на протяжении многих лет применялись почти во всех промышленных радиоприемниках, магнитофонах, телевизорах, тогда как лампы 6П27С, 6B4G, 2A3, 6С4 вообще в отечественной промышленной бытовой аппаратуре не использовались (исключение составил триод 2А3 (6С4), работавший в мощном оконечном УЗЧ телерадиокомбайна "Ленинград-Т3", который был выпущен ленинградским заводом им. Козицкого небольшой опытной партией).

Исходным и самым главным параметром при расчете всех элементов выходного трансформатора является внутреннее сопротивление лампы R_i. Если заранее неизвестен тип лампы, то нельзя определить и электрические данные обмоток трансформатора.

Предвидя эти трудности, мы постарались заранее найти пути их преодоления. Прежде всего выберем такой магнитопровод, который с запасом обеспечит получение катушки необходимой индуктивности для любого типа из перечисленных ламп и гарантирует размещение всех обмоток на его каркасе.

Таким магнитопроводом можно считать сердечник, использованный в предыдущем трансформаторе. Напомним, что это Ш-образные пластины типоразмера УШ-32, собранные в пакет толщиной 40 мм. Трансформатор с таким магнитопроводом способен передавать электрическую мощность до 150 Вт. Вспомним, что катушки первичной обмотки должны иметь индуктивность примерно 40 Гн, что при меньших размерах магнитопровода и достаточно большом сечении провода первичной обмотки (а он должен выдерживать ток не менее 0,1 А) реализовать не удастся из-за недостаточных размеров окна каркаса.

Будем считать, что параметры магнитопровода нам известны. Как только радиолюбитель определится с типом применяемых оконечных ламп, станут известны и величины, необходимые для расчета обмоток трансформатора. Они приведены в табл. 1.

С этого момента мы уже не можем давать никаких конкретных рекомендаций. Приведем ряд основных формул для электрического и

конструктивного расчета выходного трансформатора для двухтактных ламповых оконечных каскадов. Пользуясь формулами и приведенным на рис. 51 графиком, радиолюбитель сможет самостоятельно определить окончательные данные обмоток. Вот эти формулы:

1. Коэффициент трансформации n (основная формула)

$$n = \sqrt{\frac{2R_i}{R_a}},$$

где R_i- внутреннее сопротивление лампы, Ом; R_a- приведенное сопротивление нагрузки, Ом.

2. $$R_{экв} = \frac{R_i R_a}{R_i + R_a}.$$

3. Индуктивность одной половины первичной обмотки:

$$L1\,[Гн] = \frac{R_{экв}\,[Ом]}{2\pi\, f_{нижн}\,[Гц]}.$$

4. Активные сопротивления первичной и вторичной обмоток

$$r_1 = \frac{R_a}{2}(1 - \eta_{тр});\ r_2 = r_1 n^2,$$

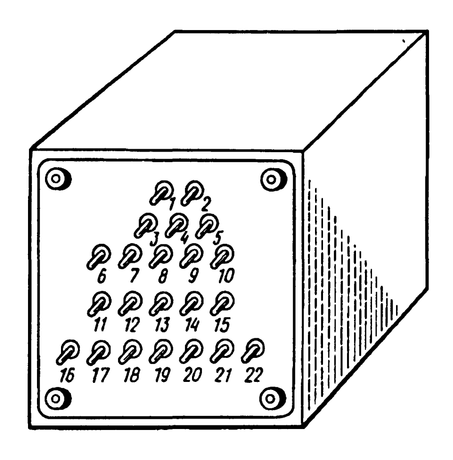
где η- КПД трансформатора (его можно принять равным 0,85).

И тем не менее рекомендуем читателям не стараться выполнить трансформатор точно по полученным расчетным данным с точностью до витка, а, напротив, при намотке первичной обмотки сделать ее заведомо с большим числом витков (на 20...30%) и предусмотреть несколько (3-5) отводов с шагом в 8...10% от общего числа витков. Это необходимо сделать, чтобы в процессе регулировки усилителя можно было подобрать оптимальный отвод. При этом не следует забывать, что как общее число витков в двух половинках первичной обмотки, так и числа витков в одноименных отводах должны быть абсолютно одинаковыми с точностью до витка.

ВЫХОДНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ ДЛЯ СТЕРЕОУСИЛИТЕЛЯ 2 х 8 (10) Вт

Магнитопровод - броневого типа на пластинах Ш-28 с толщиной пакета 40 мм. Каркас - двухсекционный (рис. 53,*а*). Первичная обмотка состоит из 1200 витков провода ПЭВ или ПЭЛ диаметром 0,2 мм с отводом от 500-го витка (для каждой из двух половин!). Общее число витков вторичной обмотки - 120, провод ПЭВ или ПЭЛ 0,8 мм. Она также наматывается в двух секциях поверх половинок первичной обмотки. Последовательность отводов, а также начала, концы и отводы половинок первичной обмотки должны быть точно промаркированы, чтобы при монтаже усилителя не ошибиться в их распайке на контакты переключателя нагрузок и на выводы печатных плат.

Рис.55. Внешний вид собранного выходного трансформатора в экране



В конструкциях автора выходные трансформаторы после сборки и влагозащитной пропитки церезином помещались в прямоугольные алюминиевые экраны-стаканы, а выводы всех обмоток распаивались на гетинаксовую контактную платформу, закрывавшую экран снизу. Внешний вид такого трансформатора показан на рис. 55.

СИЛОВЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ ДЛЯ УСИЛИТЕЛЯ ВЫСШЕГО КЛАССА

Ранее говорилось, что возможны два варианта питания усилителя: от одного общего силового трансформатора или от двух раздельных - анодного и накального. Оба варианта имеют свои достоинства и недостатки. Мы все же рекомендуем как более предпочтительный вариант с двумя трансформаторами. Но прежде, чем приводить конкретные технические данные обоих трансформаторэв, напомним, сколько и каких обмоток на них должно быть (табл. 3).

Из таблицы видно, что сумма мощностей, потребляемых накальными цепями всех ламп, составляет 120 Вт, а сумма мощностей, снимаемых со всех остальных обмоток, - 140 Вт. Это позволяет применить два одинаковых трансформатора, с одинаковыми магнитопроводами, одинаковыми сетевыми обмотками, одинаковым для обоих трансформаторов основным расчетным показателем - числом витков на 1 В, различающихся только данными вторичных обмоток. Такой подход в значительной мере упростит процесс изготовления трансформаторов и поможет обеспечить симметрию всей конструкции.

В качестве основы для обоих трансформаторов можно рекомендовать магнитопроводы типов Ш25х32, Ш22х38, Ш20х50 или ленточные типов ШЛ-40х20х0,35 (130 Вт) и СЛ-21х40х0,35 (также 130 Вт), использовавшиеся в свое время в силовых трансформаторах телевизоров "Знамя", "Весна", "Рекорд-А", "Старт-1 и 2", "УНТ-35".

Таблица 3. *Назначение обмоток силовых трансформаторов УЗЧ высшего класса*

Номер обмотки	Назначение обмотки	Напряжение, В	Ток, А	Мощность, Вт
Анодный силовой трансформатор (Т1)				
1	Сетевая	220	0,6	140
2	Анодный выпрямитель для лампы 6Е3П	230	2.10^{-3}	0,5
3	Общий анодный выпрямитель на 250 В	250	0,5	125
4	Общий анодный выпрямитель на 120 В	100	0,1	10
Накальный силовой трансформатор (Т2)				
1	Сетевая	220	0,55	120
2	Накал лампы 6Е3П и индикаторной лампы включения	6,3	0,2	1,3
3	Накал двух ламп 6П27С левого канала	6,3	3	20
4	Накал двух ламп 6П27С правого канала	6,3	3	20
5	Накал входных ламп левого канала	6	0,3	2
6	Накал входных ламп правого канала	6	0,3	2
7	Питание релейного выпрямителя на 27 В	20	7.10^{-2}	1,5
8	Питание выпрямителя +12 В	9,5	10^{-2}	—
9	Питание выпрямителя -12 В	9,5	10^{-2}	—
10	Накал ламп фазоинверсных и драйверных каскадов	6,3	2,4	15
11	Накал кенотрона 5Ц3С (по необходимости)	5	3	15
12	Накал кенотрона 5Ц3С (по необходимости)	5	3	15

Таблица 4. *Данные обмоток силовых трансформаторов*

Номер обмотки	Назначение обмотки	Число витков	Диаметр провода, мм	Переменное напряжение, В
Анодный силовой трансформатор (Т1)				
1	Сетевая	836	0,51	220
2	Анодный выпрямитель для лампы 6Е3П	875	0,2	230
3	Общий анодный выпрямитель на 250 В	950	0,51	250
4	Общий анодный выпрямитель на 120 В	380	0,2	120
Накальный силовой трансформатор (Т2)				
1	Сетевая	836	0,51	220
2	Накал лампы 6Е3П и индикаторной лампочки включения	24	0,44	6,3
3	Накал двух ламп 6П27С левого канала	24	1,5	6,3
4	Накал двух ламп 6П27С правого канала	24	1,5	6,3
5	Накал входных ламп левого канала	22	0,44	6,0
6	Накал входных ламп правого канала	22	0,44	6,0
7	Обмотка релейного выпрямителя на 27 В	76	0,2	20
8	Питание выпрямителя +12 В	36	0,2	9,5
9	Питание выпрямителя -12 В	36	0,2	9,5
10	Накал ламп фазоинверсных и драйверных каск	24	1,2	6,3
11	Накал кенотрона 5Ц3С (по необходимости)	19	1,5	5
12	Накал кенотрона 5Ц3С (по необходимости)	19	1,5	5

Если радиолюбитель сумеет приобрести один из названных типов трансформаторов, ему достаточно лишь перемотать вторичные обмотки. Это намного упростит дело. А для тех, кому придется наматывать все обмотки самостоятельно, в табл. 4 приведены их полные данные (нумерация обмоток - в соответствии со схемой рис. 23).

СИЛОВОЙ ТРАНСФОРМАТОР ДЛЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО УСИЛИТЕЛЯ

Этот трансформатор самый простой из всех описываемых. Полная мощность, потребляемая усилителем, невелика и составляет всего 50 Вт, поэтому для него нетрудно подобрать готовый промышленный трансформатор от старых ламповых приемников. Единственное, что наверняка придется сделать, это домотать дополнительные накальные обмотки для входных ламп и лампы микрофонного каскада (если он предусмотрен схемой). Наиболее подходящими для этого усилителя являются силовые трансформаторы от радиоприемников "Балтика М-254", "Восток-57", "ВЭФ-Аккорд", "ВЭФ-радио", "Латвия", "Минск-61 и 65", "Рапсодия", "Рига-6" и других с мощностью трансформатора 50...70 Вт.

Если перечисленные трансформаторы достать не удастся, приводим данные для самостоятельного изготовления: железо УШ 22х40 или ленточный магнитопровод с сечением до 10 см^2; первичная (сетевая) обмотка - 800 витков провода ПЭЛ 0,51 мм; повышающая (анодная) обмотка - 830 витков провода ПЭЛ 0,35 мм; общая обмотка накала ламп - 25 витков провода ПЭЛ 1,0 мм; две одинаковые обмотки для накала первых ламп по 24 витка провода ПЭЛ 0,44 мм (напряжение накала 6,1 В); одна обмотка для накала лампы 6Ж32П (по необходимости) - 24 витка провода ПЭЛ 0,35 мм.

СИЛОВОЙ ТРАНСФОРМАТОР ДЛЯ СТЕРЕОУСИЛИТЕЛЯ 2 х 8 (10) Вт

В авторском варианте для этого усилителя использовался промышленный силовой трансформатор от телевизора "Темп-6М" или "Темп-7М" с незначительными переделками, которые сводятся к следующему. В телевизорах этих моделей были два отдельных выпрямителя: на 150 и 270 В. Они были собраны по экономичной схеме, когда первый выпрямитель одновременно являлся частью второго и имел с ним общую часть повышающей обмотки. Радиолюбителю нужно будет включить такой трансформатор в сеть и на холостом режиме с помощью тестера найти выводы повышающих обмоток (их две - по одной на каждом стержне) с необходимым переменным напряжением. Остальные выводы использоваться не будут. Накальные обмотки для первых (входных) ламп потребуется домотать. Они должны содержать по 24 витка провода ПЭЛ или ПЭВ 0,51 мм.

Впрочем, можно изготовить силовой трансформатор и самостоятельно. Его данные следующие: магнитопровод из пластин Ш-40,

толщина пакета 50 мм. Сетевая обмотка содержит 526 витков провода ПЭЛ-0,51, повышающая (анодная) - 730 витков с отводами от 690-го и 710-го витков провода ПЭЛ-0,27. Отводы могут понадобиться, чтобы точно подобрать значение выпрямленного напряжения на выходе фильтра выпрямителя, поскольку оно может разниться на 10...30 В в зависимости от типа примененного дросселя и его активного сопротивления.

Накальная обмотка для всех четырех оконечных ламп имеет 17 витков провода ПЭЛ 1,0, для ламп фазоинвертора - 16 витков провода ПЭЛ 0,44 и для каждой из двух первых (входных) ламп - по 15 витков провода ПЭЛ 0,44 мм.

ДРОССЕЛИ ФИЛЬТРА

Читатели, вероятно, уже обратили внимание на то, что во всех описанных выпрямителях реализованы фильтры с дросселями, настраиваемыми в резонанс на удвоенную частоту сети (100 Гц). Эта мера значительно увеличивает эффективность работы фильтра, что позволяет использовать дроссели с меньшей, чем обычно принято, индуктивностью обмотки. Поэтому оказывается возможным отказаться от самостоятельного изготовления дросселей и использовать наиболее подходящие от старых ламповых радиоприемников и телевизоров. Они, как правило, рассчитаны на работу под напряжением 220...270 В при токе в 50...150 мА.

Любой такой дроссель практически подходит ко всем описанным усилителям, за исключением мощного оконечного на триодах, поскольку полный потребляемый им от выпрямителя ток при любых оконечных лампах превышает 250 мА при моноварианте и 0,5 А при стерео. Для этого усилителя могут подойти только дроссели от телевизоров КВН-49 или УНТ-47 с активным сопротивлением 85 и 47 Ом соответственно. Если усилитель стереофонический, то питание каждого канала должно осуществляться через собственный фильтр с отдельными дросселями.

УСИЛИТЕЛЬ ЗАРАБОТАЛ. ЧТО ДАЛЬШЕ?

Но вот, наконец, позади недели (а может быть, и месяцы) кропотливого труда. И настал долгожданный день. Усилитель заработал, и притом именно так, как и должен был заработать, - *отлично*. Очень скоро вы убедитесь, что при самом придирчивом отношении к усилителю нельзя предъявить никаких претензий: все параметры, на которые он рассчитан, полностью реализованы.

Но означает ли это, что действительно достигнут предел возможного и что уже ничего нельзя изменить к лучшему? Отнюдь нет. В деле совершенствования любого радиоаппарата пределов быть не может, особенно для настоящих радиолюбителей - людей пытливых и творческих. И здесь можно наметить несколько направлений.

Первое заключено в дальнейшем совершенствовании самого усилителя. Следует отметить, что улучшить показатели того усилителя, который вы изготовили по приведенным описаниям, вряд ли удастся: если вы тщательно и добросовестно проделали все, что было рекомендовано по изготовлению трансформаторов, подбору деталей и особенно по регулировке и измерениям, то значит, что из усилителя "выжато" все до последней капли.

Модернизация усилителя не только возможна. Но и вполне оправдана, особенно если вы выбрали для начала один из упрощенных вариантов, например, не вводили в конструкцию кланг-регистр, или ограничились двумя регуляторами тембра вместо четырех. Теперь самое время ввести эти "излишества" в ваш усилитель.

Вполне допустимо заменить оконечные лампы более мощными, если вам удалось, наконец, их приобрести или если выходная мощность вашего усилителя кажется недостаточной. А может быть, вначале, для пробы, вы ограничились изготовлением одноканального варианта, так что переход к стереофонии - очередная задача.

Другой путь состоит в отказе от одноканальной схемы усиления и звуковоспроизведения и переходу на многоканальную (для начала - двухканальную). Мы уже говорили, что при полосе пропускания всего тракта от 20 Гц до 20 кГц "перекрытие диапазона" составляет 1:1000. Это очень большая, просто огромная величина. Вспомните для сравнения, что в любом всеволновом радиоприемнике весь радиовещательный диапазон (он находится в пределах от 150 кГц на длинных волнах и до 100 МГц на УКВ) составляет по перекрытию меньшую величину, всего 1:666. И тем не менее этот диапазон разбит как минимум на четыре отдельных диапазона: ДВ, СВ, КВ и УКВ. При этом следует учитывать, что значительная часть этого диапазона (от 20 до 64 МГц) вообще не используется для вещания. Такая разбивка на поддиапазоны вызвана тем, что слишком уж разные условия работы приемной части схемы на различных частотах.

В низкочастотном усилителе действуют те же законы, но есть своя специфика усиления на разных частотах. Достаточно указать на один факт: индуктивное сопротивление первичной обмотки выходного трансформатора с индуктивностью L = 40 Гн на частоте 20 Гц составляет 5 кОм, а на другом краю рабочего диапазона (частоте 20 кГц) - уже 5 МОм! Разница, заметьте, в 100000%! А мы хотим, чтобы этот трансформатор одинаково работал на всех частотах.

То же относится и к влиянию различных паразитных (точнее сказать - неизбежных) емкостей монтажа, полей рассеяния трансформаторов, межэлектродных емкостей ламп. Если в нижней части рабочего диапазона (от 1000 Гц и ниже) их влияние практически неощутимо, то на частотах выше 10 кГц они становятся полноправными и безраздельными "хозяевами" схемы, создавая непредсказуемые положительные и отрицательные обратные связи, которые могут полностью нарушить нормальную работу усилителя и даже превратить его в генератор.

И здесь просматривается только одно решение: разделить весь низкочастотный спектр по меньшей мере на два и обработку каждой части спектра поручить отдельным усилителям. Мы же говорим об

этом, предполагая, что радиолюбитель, собравший один из описанных здесь усилителей, в дальнейшем сможет использовать его в качестве низкочастотного, а для работы с верхним участком спектра построить дополнительный, высокочастотный канал, нагруженный на свои дополнительные выносные громкоговорители.

Но самое увлекательное и неизведанное поджидает пытливых и любознательных радиолюбителей на третьем пути - пути, которому в основном и посвящена эта глава. Это связано с тем, что УЗЧ и акустическая система, на которую он работает, не два отдельных устройства, а одна единая система, звенья которой связаны между собой неразрывно, как два смежных каскада в схеме усилителя.

Любой УЗЧ вырабатывает на выходе сигнал с определенными заранее параметрами, на которые подключаемая акустическая система в идеальном случае вообще никак не влияет, а в худшем случае снижает КПД усилителя и увеличивает нелинейные искажения при неоптимальном согласовании.

В свою очередь, ни один усилитель не может повлиять на полосу воспроизводимых акустической системой частот, ее неравномерность и нелинейные искажения, создаваемые излучателями. Если представить себе комплекс усилитель + акустическая система как единую систему, то окажется возможным осуществить их взаимное влияние, охватив всю систему цепью отрицательных и положительных обратных связей с определенными заданными параметрами. В чем же "изюминка" этой идеи? Для ответа на этот вопрос придется снова вернуться к теории.

Известно, что любой громкоговоритель представляет собой электромеханическую систему, электрическая часть которой определяется индуктивностью звуковой катушки, ее активным сопротивлением и параметрами магнитного поля, в зазоре которого катушка перемещается. Механическая часть системы характеризуется массой диффузора, жесткостью его подвески, инерцией всей подвижной системы, площадью излучения диффузора. Дополнительное и весьма существенное влияние на механические характеристики акустической системы оказывают форма и размеры футляра, являющегося экраном, предотвращающим или снижающим степень "акустического короткого замыкания" между фронтальной и тыльной сторонами диффузора излучателя.

Некоторые из этих параметров неизменны и заложены в конструкции излучателя (например, активное сопротивление катушки, механическая масса диффузора, жесткость его подвески и т.п.). Другие могут непрерывно меняться в процессе работы громкоговорителя (например, индуктивность катушки, ее реактивное сопротивление). Кроме того, вся система имеет множественные собственные электрические и механические резонансы, проявляющиеся в разной степени на разных частотах, которые могут быть присущи как данному типу излучателей, так и конкретному экземпляру.

Эти факторы делают частотную характеристику излучения по звуковому давлению в значительной мере непредсказуемой и неравномерной. Кроме того, не следует забывать, что громкоговоритель представляет собой нелинейную систему, в которой форма протека-

ющего через катушку тока звуковой частоты значительно отличается от формы приложенного к ней напряжения. А ведь именно от формы и значения этого тока зависят механические колебания диффузора. Поэтому как бы мы ни старались линеаризовать форму приложенного к громкоговорителю напряжения, форма тока в катушке нам неподвластна.

Совсем иное дело, если мы имеем напряжение, форма которого в точности повторяет форму тока в катушке. Тогда это напряжение в виде отрицательной обратной связи можно было ввести в схему усилителя и таким образом воздействовать на процесс механических колебаний диффузора, устраняя выбросы и провалы в частотной характеристике излучения.

К счастью, такая возможность существует. Для ее реализации достаточно включить последовательно с громкоговорителем со стороны его заземленного конца активное безындукционное (непроволочное) сопротивление, составляющее 3...5% от полного сопротивления звуковой катушки. Для четырехомного громкоговорителя это составит 0,15...0,2 Ом. Возможно, что найти такой резистор окажется непросто. В этом случае его можно заменить небольшим отрезком высокоомного провода из константана, нихрома, манганина.

При работе громкоговорителя через этот резистор будет протекать точно такой же ток, что и через звуковую катушку, и, следовательно, на нем будет падать напряжение, форма которого в точности повторяет форму тока, что нам и требовалось. Это напряжение обратной связи необходимо вернуть в усилитель отдельной независимой двухпроводной линией и подать на вход оконечного каскада, предварительно сформировав с помощью специального дополнительного широкополосного усилительного каскада нужную величину и полярность сигнала обратной связи. Использовать в качестве нулевого провода тот, что идет от выходного трансформатора к динамикам, недопустимо, так как его активное сопротивление при достаточно длинной соединительной линии (2...5 м) соизмеримо с сопротивлением добавочного резистора.

Это общее описание физики процесса. Но мы не станем приводить подробные данные о его схемной реализации. Пусть каждый, кто захочет поэкспериментировать в этом совсем новом направлении, найдет свое решение.

В конце концов, цель этой книги не просто описать конкретный усилитель для повторения, а побудить радиолюбителей к творческому поиску, привить вкус к серьезной исследовательской работе, результаты которой принесут неизмеримо больше радости, чем возможность послушать высококачественное звучание усилителя, пусть даже и созданного своими руками.

Но чтобы читатель не подумал, что это направление не более чем красивый теоретический изыск, сообщаем, что на одном из описанных в книге усилителей (неважно каком). Автором использовался описанный способ получения электрической обратной связи между группой громкоговорителей и оконечным каскадом УЗЧ дал превосходные результаты. На рис. 56 приведены две частотные характеристики этой акустической системы по звуковому давлению, полу-

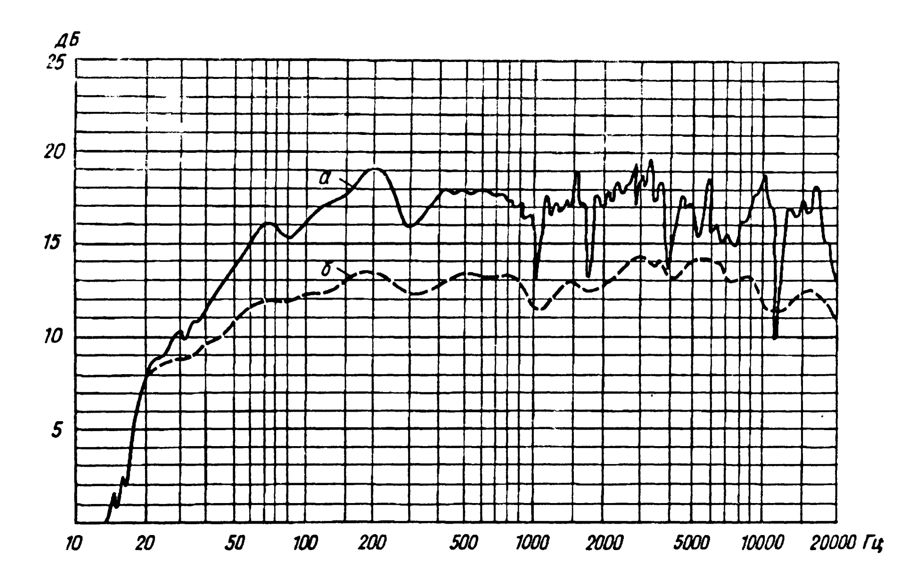


Рис.56. Частотная характеристика реальной акустической системы совместно с усилителем, охваченные общей цепью обратной связи:
а - без обратной связи; *б* - с обратной связью

ченные при испытаниях, проводившихся в электроакустической лаборатории МТУСИ. На рисунке сплошной линией изображена частотная характеристика акустической системы без обратной связи, штриховой - с обратной связью. Результаты не требуют комментариев.

АКУСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Сейчас в продаже (по крайней мере, в крупных городах) можно приобрести самые разнообразные по мощности, конструкции, габаритным размерам и стоимости акустические системы практически на любой вкус, начиная от малогабаритных объемом в 2...3 дм^3 до напольных объемом свыше кубометра. Однако у подавляющего большинства этих систем есть один объединяющий признак: все они компрессионного типа. Это означает, что футляр акустической системы наглухо закрыт и диффузор громкоговорителя работает как поршень, цилиндр которого имеет внутри неизменный объем заключенного воздуха.

Все компрессионные системы имеют ряд бесспорных достоинств, среди которых важнейшими являются следующие:

1. Полностью исключено акустическое короткое замыкание между фронтальной и тыльной сторонами диффузора громкоговорителя, что увеличивает относительную (но не абсолютную!) отдачу на крайних низших частотах и, следовательно, уменьшает общую неравномерность частотной характеристики за счет этой части спектра.

2. За счет того, что диффузор работает как поршень в закрытом цилиндре, резко возрастает сопротивление внутреннего объема воздуха в футляре, что приводит к быстрому затуханию свободных колебаний диффузора, а это эквивалентно увеличению фактора демпфирования.

3. Благодаря увеличению излучения нижних частот (см. п. 1) удается существенно уменьшить габаритные размеры футляра при сохранении качества звучания в басовом регистре.

Однако, как принято говорить, бесплатным бывает только сыр в мышеловке. За все остальное приходится платить. В случае компрессионных акустических систем платой является их КПД и, следовательно, электрическая мощность, которую необходимо подводить к системе для получения достаточной громкости звучания.

Читатели наверняка обращали внимание на то, что у большинства современных переносных и компактных приемников, магнитол, а также у их автомобильных близнецов регламентируется паспортная выходная мощность в 50, 60, 100 и даже 300 Вт! Между тем абсолютное большинство старых ламповых радиоприемников и радиол даже самого высокого класса имело выходную мощность в 10...20 раз меньшую. Например, у консольной стереорадиолы высшего класса "Симфония" выходная мощность каждого канала не превышала 6 Вт, первоклассные настольные приемники "Латвия", "Мир" "Т-689" имели выходную мощность 5 Вт, хотя при этом громкость их звучания была отнюдь не меньше, а скорее больше, чем у сегодняшней автомагнитолы с паспортной мощностью 2x30 Вт.

В чем же дело? А дело в том, что до начала широкого распространения транзисторной радиоаппаратуры в качестве акустических систем применялись не компрессионные, а исключительно открытые излучатели, т.е. такие, у которых тыльная сторона диффузоров громкоговорителей сообщалась с воздушным объемом помещения через перфорированную заднюю стенку футляра. И хотя такие открытые акустические системы не имели достоинств компрессионных систем, они тем не менее обеспечивали прекрасное качество звучания при значительно меньшей подводимой электрической мощности.

Сравнение двух типов акустических систем приведено для того, чтобы радиолюбитель смог сделать правильный выбор. Дело в том, что сегодняшняя номенклатура мощных оконечных транзисторов дает возможность получить неискаженную выходную мощность в 50 и 100 Вт при исключительно высоком КПД, поскольку специальные схемные решения позволяют этим транзисторам работать в классе В практически без заметных нелинейных искажений. В этом случае использование компрессионных акустических систем не только возможно, но и вполне оправдано.

Иначе обстоит дело с ламповыми усилителями. Современные ламповые оконечные каскады могут работать только в чистом классе А.

Это необходимо, чтобы обеспечить приемлемый уровень коэффициента нелинейных искажений. Но это, как известно, самый неэкономичный режим. Кроме того, мощные оконечные лампы потребляют большой ток по цепи накала, поэтому оказывается, что даже при выходной мощности 10...15 Вт усилитель потребляет от сети свыше 100 Вт.

Ясно, что создавать ламповый усилитель с выходной мощностью 100 Вт и более для нормальной раскачки достаточно мощной компрессионной системы просто бессмысленно: он будет потреблять от сети не менее 1 кВт и соответственно выделять тепла наравне с утюгом или электроплиткой.

Отсюда следует, что для лампового усилителя предпочтительнее акустическая система открытого типа. Но именно такие системы сегодня не выпускает практически ни одна фирма ни в России, ни за рубежом. Что же остается делать читателю? Ему остается построить такую систему самому.

Для тех, кто никогда этого не делал, сообщаем, что это вовсе не так просто, как может показаться сначала, и что построить высококачественную акустическую систему ничуть не проще, чем высококачественный усилитель. Поэтому приведем не только подробное описание одной из систем (далеко не самой сложной), но и сопроводим его пояснениями и комментариями, которые помогут грамотно подойти к выбору типов громкоговорителей, определению формы и размеров футляра и конструкционных материалов для ее изготовления.

Начинать конструирование акустической системы следует с задания основных параметров. Главными показателями любой акустической системы являются:

1. Реально воспроизводимый диапазон частот по звуковому давлению.
2. Неравномерность частотной характеристики в этом диапазоне.
3. Реальная величина звукового давления.
4. Коэффициент нелинейных искажений.
5. Потребляемая мощность звукового сигнала.

С этими параметрами напрямую связан выбор типов и числа громкоговорителей, способных решить эту задачу. Здесь снова потребуется небольшое отступление в область теории, без чего многое из дальнейшего рассуждения может оказаться непонятным. Начнем с рассмотрения работы громкоговорителя. Для эффективного излучения самых низких частот диффузор громкоговорителя должен иметь максимально возможную излучающую поверхность (площадь конуса), предельно мягкую подвеску (эластичный гофр и небольшую упругость подвески), что влечет за собой достаточно большую инерционность всей системы. Впрочем, на низших частотах диапазона это практически не сказывается отрицательно на качестве звучания басовых инструментов.

Для эффективного воспроизведения высших частот диапазона (начиная с 8...10 кГц) требования к громкоговорителю меняются на противоположные. Диффузор может быть небольшого размера, но обязательно жестким: очень часто для достижения этой цели бумаж-

ный диффузор пропитывают бакелитовым лаком, а у наиболее дорогих моделей (преимущественно западных фирм) делают из пластмассы или легкого дюраля. Подвеска катушки делается жесткой и максимально безынерционной.

Даже сказанного достаточно, чтобы понять, что для эффективного излучения широкого спектра частот одним громкоговорителем не обойтись. И действительно, абсолютное большинство широкополосных акустических систем состоит из трех и более разных излучателей.

Почему из трех, а не двух? Потому что хороший низкочастотный громкоговоритель с низкой частотой собственного механического резонанса эффективно излучает лишь частоты не выше 4...6 кГц, а высокочастотные головки начинают работать с 8...10 кГц, поэтому средний участок рабочего диапазона попадает в "зону провала".

Чтобы этот участок заполнить, обычно в состав системы включают третий, широкополосный громкоговоритель средней мощности (3...5 Вт), к относительно большому диффузору которого приклеен небольшой жесткий конус для улучшения излучения высоких частот. При этом удается достичь полосы частот у таких громкоговорителей в пределах от 60...80 Гц до 10...12 кГц с приемлемой степенью неравномерности.

В варианте автора эта концепция нашла выражение в выборе трех стандартных промышленных громкоговорителей:

1. 6ГД-2 РРЗ - в качестве основного низкочастотного (полоса частот 40...5000 Гц, частота собственного резонанса 25...35 Гц, номинальная мощность 6 Вт, полное сопротивление 8 Ом). Использовался в стереорадиоле высшего класса "Симфония".

2. 4ГД-7 - в качестве среднечастотного "заполняющего" (полоса частот 80...12000 Гц, частота собственного резонанса 50...70 Гц, номинальная мощность 4 Вт, полное сопротивление 4,5 Ом).

3. 1ГД-3 РРЗ - в качестве высокочастотного (полоса частот 5000...18000 Гц, частота собственного резонанса 4500 Гц, номинальная мощность 1 Вт, полное сопротивление (на частоте 10 кГц) 12,5 Ом.

Вероятно, что приобрести сегодня именно эти громкоговорители невозможно. В этом нет ничего страшного, так как имеющиеся в продаже типы не только не хуже указанных, но и нередко превосходят их по основным показателям. Важно лишь при их выборе придерживаться приведенных соотношений номинальных мощностей (6:4:1) и по возможности - отношений полных сопротивлений. Само собой разумеется, что номинальная мощность заменяющих громкоговорителей не может быть меньше, чем у рекомендованных.

Ну, а для тех, кто не намерен заниматься самостоятельными расчетами и конструированием, приведем подробное описание наиболее простой, но тем не менее вполне отвечающей требованиям Hi-Fi акустической стереосистемы, состоящей из двух одинаковых 10-ваттных колонок - обеспечивающих с большим запасом озвучение помещения площадью до 50 м^2 и специально предназначенной для описанного раньше стереоусилителя 2х8(10) Вт.

Итак, начнем с футляра. Для его изготовления потребуется хорошая, без дефектов (лучше всего авиационная) фанера толщиной

10...12 мм, тщательно высушенная и не коробленная еловая (в крайнем случае - сосновая) доска толщиной 30 мм, лист фанеры толщиной 4 мм для задних стенок, тонкая листовая резина (можно использовать старые автомобильные камеры), а также 20 специальных транспортировочных прокладок-планшетов из рыхлого картона, используемых при упаковке и перевозке куриных яиц, и хороший столярный или казеиновый клей.

Кроме того, понадобятся специальные столярные и плотницкие инструменты для обработки дерева (продольной распиловки толстой доски, распиловки фанеры, выстругивания, вырезки отверстий под громкоговорители в передней доске и перфорации на задних стенках), а также широкие струбцины или ваймы для изготовления клееного переднего щита.

На рис. 57 и 58 даны чертежи отдельных деталей футляра и его общий вид с указанием основных размеров. Что касается числа, формы и размеров отверстий в переднем щите, то они будут определяться исключительно габаритными размерами примененных радиолюбителем громкоговорителей и их количеством. Размеры, приведенные на рисунке, соответствуют громкоговорителям типа 6ГД-2 РРЗ (низкочастотный), 4ГД-7 (среднечастотный) и 1ГД-3 РРЗ (высокочастотный).

Следует отметить, что при использовании громкоговорителей любых других типов их взаимное расположение и координаты центров на переднем щите должны быть сохранены такими, как указано на чертеже. Если вместо одного высокочастотного громкоговорителя будут использованы два одинаковых, их надо разместить рядом, горизонтально и симметрично относительно координат, указанных на чертеже для 1ГД-3. Включать их между собой надо последовательно и синфазно.

Начинать работу следует с наиболее сложной и трудоемкой ее части - изготовления переднего щита. Щит этот собран из отдельных еловых или сосновых брусков, нарезанных из цельной, хорошо высушенной некоробленной доски толщиной не менее 30 мм (в струганом виде). Доску распиливают вдоль на отдельные бруски сечением 30x30 мм и длиной 1,1 м (с технологическим запасом). После тщательной обработки брусков крупной наждачной бумагой из них с помощью столярного или казеинового клея склеивают доску необходимой ширины (с небольшим запасом) и, зажав ее в ваймы или струбцины, оставляют сушить не менее чем на неделю.

В это время можно заняться изготовлением футляров. Для них из 10-миллиметровой фанеры вырезают по две боковые, верхнюю и нижнюю панели, заготавливают деревянные уголки и с помощью клея и шурупов собирают футляры. В процессе сборки важно выдержать прямоугольность конструкции. Это необходимо чтобы в дальнейшем передняя доска встала на место без перекосов.

Отделать футляр можно шпоном ценных пород (орех, карельская береза) либо оклеить самоклеящейся пленкой "под дерево". Внешняя отделка должна быть полностью закончена до окончательной сборки агрегата.

Теперь нужно изготовить задние стенки. Их вырезают из 4-миллиметровой фанеры точно под размер заднего "окна" футляра.

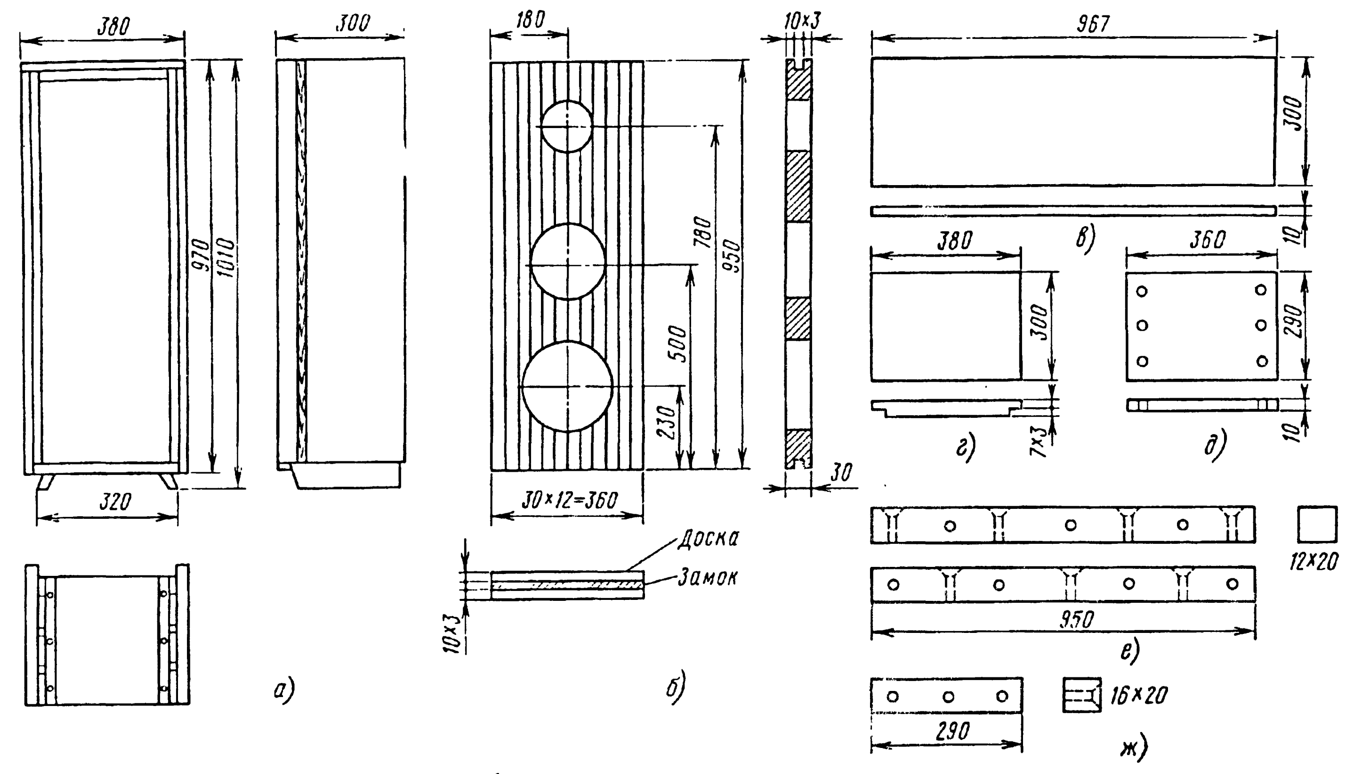


Рис.57. Чертеж заготовок для изготовления футляров, отражательных досок и задних стенок акустических агрегатов:

а - сборочный чертеж футляра; *б* - сборочный чертеж передней (отражательной) доски; *в* - заготовки боковых стенок; *г* - заготовка верхней крышки; *д* - заготовка дна (нижнего основания); *е* - вертикальные (боковые) скрепляющие бруски; *ж* - нижний и верхний крепежные бруски

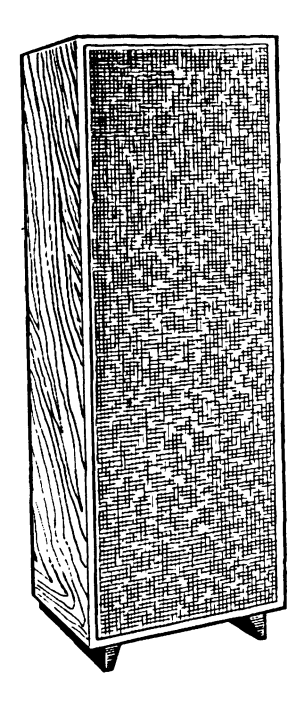


Рис.58. Внешний вид готовой акустической системы

Затем нужно взять три транспортировочных планшета от яиц и положить на стол "рыхлой" стороной картона вниз. Острым ножом или ножовочным полотном нужно срезать заподлицо все выступающие сверху "гладкие" конусы, после чего наложить все три планшета срезанной стороной на заднюю стенку и через образовавшиеся в планшете отверстия карандашом разметить будущие отверстия в задней стенке.

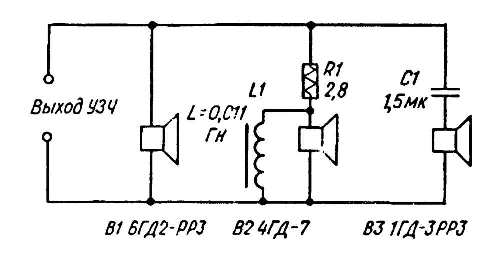
После того как в фанере будут вырезаны все размеченные отверстия, заднюю стенку нужно покрасить морилкой или другой водорастворимой краской, с внутренней стороны по всей площади наклеить марлю и после ее полного высыхания поверх марли наклеить подготовленные планшеты, проследив, чтобы отверстия в них точно расположились против отверстий в задней стенке. На этом можно изготовление задних стенок считать законченным и вернуться к передней панели.

Если передняя панель хорошо высохла и клей "намертво" связал отдельные бруски в целую доску, нужно аккуратно и с высокой степенью точности обрезать ее под нужный размер. Нужным считается такой размер, чтобы после наклейки на все четыре торцевые стороны доски уплотнительных резиновых полосок-ремней доска плотно и без зазоров входила внутрь футляра с передней стороны. Крепление доски к футляру может быть решено по-разному. В конструкциях автора использовались крепежные скобы-угольники с шайбами и "барашками" от крепления кинескопа к футляру телевизора.

Когда передняя доска точно подогнана к проему футляра и оклеена по торцам резиновыми полосками, можно приступать к вырезанию отверстий под громкоговорители. При этом следует учесть, что диаметр отверстия в доске с точностью до миллиметра должен соответствовать расстоянию между внутренними кромками картонной наклейки на громкоговорителе со стороны диффузора.

После вырезывания всех отверстий внутренние торцевые стороны отверстий нужно тщательно зашкурить наждачной бумагой, протереть от образовавшейся пыли и покрыть любым лаком или нитрокраской. Теперь на наружную сторону доски надо наклеить или натянуть с помощью мелких гвоздиков радиоткань или любую другую, но обязательно редкую (прозрачную) материю. Только после этого на переднюю панель можно устанавливать громкоговорители, обеспечив при этом абсолютно точную их центровку относительно отверстий в доске.

Рис.59. Схема соединения громкоговорителей в акустическом агрегате



Оставшиеся шесть "яичных" планшетов (на каждый из футляров) нужно прибить или приклеить к внутренним сторонам боковых стенок футляра (по три на каждую стенку) "рыхлым" слоем картона внутрь футляра. Это позволяет практически полностью исключить отражения от боковых и задней стенок футляра и значительно уменьшить пики и провалы в частотной характеристике агрегата по звуковому давлению.

Соединение громкоговорителей между собой производится в соответствии со схемой, приведенной на рис. 59. Параметры деталей, указанные на этой схеме, соответствуют примененным типам громкоговорителей.

Рассмотрим фазирование громкоговорителей внутри колонок и колонок между собой. Дело это исключительно важное, ибо при неправильном фазировании даже идеально собранная система будет работать из рук вон плохо. К сожалению, многие радиолюбители этого не знают или не придают этому значения, расплачиваясь плохой работой хороших колонок.

Физический смысл фазирования состоит в том, чтобы в группе параллельно, последовательно или смешанно соединенных громкоговорителей, работающих от общей двухпроводной линии, при подаче на вход линии постоянного напряжения положительной или отрицательной полярности диффузоры всех громкоговорителей реагировали одинаково: либо втягивались в магнитный зазор, либо выталкивались из него. Недопустимо, чтобы диффузоры разных громкоговорителей двигались в противоположных направлениях.

На практике дело обстоит немного сложнее. Дело в том, что высокочастотный громкоговоритель подключен к линии через разделительный конденсатор, а среднечастотный зашунтирован дросселем, поэтому при подключении к линии батарейки (1,5 В) можно просто не заметить отклонения диффузора. Так что на время проверки синфазности разделительный конденсатор нужно замкнуть перемычкой накоротко, а дроссель отпаять с одной стороны (любой). Для изменения фазирования любого громкоговорителя нужно поменять местами подходящие к нему провода, а после окончания работы не забыть восстановить временно нарушенную схему.

После того как все громкоговорители внутри каждой из колонок будут сфазированы, следует произвести фазирование колонок между собой. Для этого обе колонки нужно поставить вплотную рядом друг с другом на расстоянии в 2...3 м от оператора "лицом" к нему, включить параллельно и подать от звукового генератора сигнал с ча-

стотой 200 Гц очень небольшого уровня, так чтобы звук был едва слышен. Один провод от одной из колонок (любой) нужно разорвать и в образовавшийся разрыв включить длинный отрезок соединительного провода с таким расчетом, чтобы оператор, находясь на расстоянии 3 м от колонок, мог попеременно замыкать и размыкать разорванную цепь.

Если при замыкании разорванной цепи громкость почти не изменяется или очень незначительно увеличивается, значит, колонки сфазированы правильно. Если же при подключении второй, разомкнутой колонки громкость звука резко уменьшается или звук перестает быть слышен совсем, значит, колонки включены в противофазе. В этом случае провода от одной из них (безразлично какой) надо поменять местами и еще раз убедиться, что колонки работают синфазно.

После этого одноименные концы проводов обеих колонок нужно пометить (закрасить краской, обмотать изолентой, надеть хлорвиниловый "чулок"), чтобы потом правильно распаять их на разъемы или другие соединители, исключающие нефазное подключение двух колонок к выходам стереоканалов усилителя. Полезно проверку на синфазность произвести еще раз уже совместно с работающим усилителем, поскольку может оказаться, что вторичные обмотки выходных трансформаторов в двух каналах усилителя имеют на выходе разные фазы. При такой проверке сигнал с частотой 200 Гц от генератора должен быть одновременно подан на оба входа усилителя.

И наконец, последнее замечание о колонках. Поскольку ток при пиковой мощности (10...12 Вт) превышает 3 А, соединительные провода должны иметь достаточное сечение, чтобы на них при длине 3...5 м не возникало заметного падения напряжения сигнала. Лучше всего в качестве соединительных проводов для колонок применять стандартный осветительный шнур от бытовых электроприборов. Провода должны быть цельными, соединения в них недопустимы.

Перед началом эксплуатации колонок нужно проверить каждую из них на отсутствие дребезжаний. Для этого на вход усилителя подключают звуковой генератор, уровень сигнала устанавливают соответствующим номинальной мощности колонки (в нашем случае 10 Вт) и очень медленно изменяют частоту в пределах всей полосы, от 40 Гц и до 18 кГц, поддерживая выходную мощность неизменной и внимательно прислушиваясь к появлению посторонних призвуков и дребезжаний.

Чаще всего их причиной являются неплотно притянутые шайбы под винтами и шурупами, неплотно привернутая задняя стенка, ненадежно приклеенные звукопоглощающие планшеты, слабо натянутая на передней панели радиоткань либо стружки, опилки и мелкие посторонние предметы, оказавшиеся между диффузором и радиотканью. Все выявленные причины нужно обязательно устранить до начала эксплуатации комплекса.

И если вы не поленились и выполнили все, что было рекомендовано, автор гарантирует вам великолепное звучание на зависть владельцам 50 и 100-ваттных компрессионных колонок..

СОДЕРЖАНИЕ



Г.С.Гендин

Высококачественные ламповые усилители звуковой частоты

Издательство «Радио и связь»